

# Rancang Bangun Yoke Elektromagnetik Untuk Pengujian NDT Dengan Metode *Magnetic Particle Test Berbasis Arus AC*

Rifaldi Surya Ramadhan<sup>1</sup>, Yohanes Sinung Nugroho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

<sup>1</sup>E-mail : [rifaldir26@gmail.com](mailto:rifaldir26@gmail.com)

<sup>1</sup>E-mail : [sinung@polban.ac.id](mailto:sinung@polban.ac.id)

## ABSTRAK

*Magnetic Particle Testing (MT)* merupakan salah satu metode *Non-Destructive Testing (NDT)* yang banyak digunakan dalam industri untuk mendeteksi cacat pada material ferromagnetik. Keunggulan metode ini meliputi akurasi yang tinggi dalam mendeteksi diskontinuitas permukaan, terutama dengan distribusi medan magnet yang optimal. Namun, efektivitas pengujian sering kali terbatas oleh desain yoke yang tidak mampu menghasilkan distribusi medan magnet yang merata serta kurang fleksibel untuk berbagai geometri material. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun yoke yang lebih efektif dan efisien untuk pengujian MT berbasis arus AC. Yoke ini dirancang untuk meningkatkan ergonomis dibandingkan yoke yang ada di Laboratorium NDT Hanggar Teknik Aeronautika dengan fokus pada distribusi medan magnet yang merata dan kompatibilitas dengan material ferromagnetik. Pengujian dilakukan dalam kondisi laboratorium yang terkontrol, melibatkan evaluasi intensitas medan magnet, akurasi deteksi cacat, dan efisiensi operasional. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah yoke Tugas Akhir yang mampu bersaing dari segi ergonomis dan keandalan dalam proses pengujian MT dibandingkan dengan yoke Magnaflux Y-6, mendukung kebutuhan kontrol kualitas di berbagai industri seperti otomotif dan penerbangan.

### Kata Kunci

*Non-Destructive Testing, Magnetic Particle Testing, Yoke berbasis arus AC*

*Magnetic Particle Testing (MT) is one of the Non-Destructive Testing (NDT) methods widely used in industry to detect defects in ferromagnetic materials. The advantages of this method include high accuracy in detecting surface discontinuities, especially with optimal magnetic field distribution. However, the effectiveness of the test is often limited by the yoke design that is unable to produce an even magnetic field distribution and is less flexible for various material geometries. This study aims to design and build a more effective and efficient yoke for AC current-based MT testing. This yoke is designed to improve ergonomics compared to the existing yoke in the Hanggar Teknik Aeronautika NDT Laboratory by focusing on even magnetic field distribution and compatibility with ferromagnetic materials. Testing is carried out under controlled laboratory conditions, involving evaluation of magnetic field intensity, flaw detection accuracy, and operational efficiency. The expected result of this study is a Final Project yoke that is able to compete in terms of ergonomics and reliability in the MT testing process compared to the Magnaflux Y-6 yoke, supporting quality control needs in various industries such as automotive and aviation.*

### Keywords

*Non-Destructive Testing, Magnetic Particle Testing, AC current based Yoke*

## 1. PENDAHULUAN

Dalam dunia industri, *Non-Destructive Testing (NDT)* memainkan peran penting dalam memastikan kualitas dan integritas material. Salah satu metode NDT yang efektif adalah *Magnetic Particle Testing (MT)*, yang menggunakan medan magnet untuk mengidentifikasi cacat pada material ferromagnetik, baik di permukaan maupun dekat permukaan. Proses magnetisasi menjadi kunci dalam metode ini karena memengaruhi kemampuan alat untuk mendeteksi diskontinuitas secara akurat. (3)

Namun, proses magnetisasi yang tidak terkontrol dapat meningkatkan medan magnet sisa yang berpotensi mengganggu kinerja sistem elektronik dan mempercepat keausan komponen. Oleh karena itu, pengaturan magnetisasi dan demagnetisasi perlu dilakukan secara tepat untuk menjaga keandalan sistem dan mendukung aplikasi teknologi berbasis elektromagnetik. Pengembangan material

dan alat yang efisien menjadi bagian penting dari riset di bidang ini.

Di Politeknik Negeri Bandung, keterbatasan akses terhadap yoke elektromagnetik berbasis arus AC menjadi hambatan dalam pelaksanaan praktikum MT. Karena itu, pengembangan yoke elektromagnetik yang lebih terjangkau namun tetap mendekati standar industri sangat dibutuhkan. Yoke tugas akhir yang ergonomis dan ekonomis tidak hanya meningkatkan fasilitas laboratorium, tetapi juga memperluas peluang riset dan pembelajaran di lingkungan akademik.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

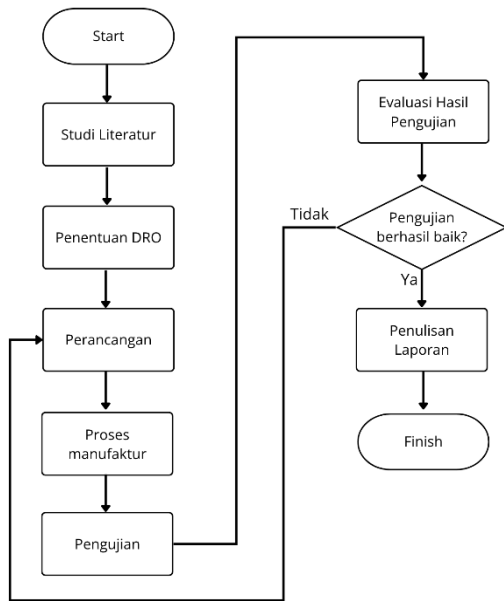
J. F. Cook, J. Holm, and G. D. Lassahn Penelitian dilakukan untuk mengembangkan teknik pengujian non destruktif yang efektif untuk mendeteksi cacat di bawah permukaan bahan ferromagnetik. Teknik yoke arus bolak-balik (AC) dalam uji partikel magnetik (MT) dipilih karena kemudahan operasionalnya. Metode tambahan menggunakan *Eddy*

*Current* dengan probe diferensial. Teknik ini diverifikasi pada sampel 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. (1)

Wina Yuliana Sumarna (2023) membuat tugas akhir yang berjudul “Rancang Bangun Ulang Alat *Magnetic Particle Testing* Teknik Headshot”. Tugas akhir ini menyempurnakan alat *Magnetic Particle Testing* (MT) Teknik headshot dengan hasil dapat mengindikasikan crack/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. (2)

### 3. METODE PENYELESAIAN MASALAH

Metode penyelesaian masalah dalam penelitian ini dilakukan secara sistematis dan terstruktur, dimulai dari tahap studi literatur sebagai dasar pemahaman teori, hingga proses pengujian guna memastikan bahwa medan magnet atau arus listrik yang dihasilkan telah memenuhi standar yang ditetapkan. Setiap langkah dilaksanakan secara berurutan agar proses perancangan dan implementasi sistem berjalan secara efisien dan sesuai arah yang diharapkan. Rangkaian proses ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir

#### 3.1 Studi Literatur

Pada pelaksanaan penelitian ini, studi literatur memiliki peran penting dalam memperkuat pemahaman terhadap prinsip dasar *Non-Destructive Testing* (NDT) serta metode *Magnetic Particle Testing* (MT). Referensi utama yang dijadikan dasar adalah dokumen *Training Handout Magnetic Particle Testing* yang disusun oleh NDE Center ITS Surabaya dan diedit oleh Wing Hendroprasetyo, E.Eng. (2009). Isi dari literatur tersebut memberikan dasar teoritis yang mendalam dan menjadi pedoman dalam pelaksanaan

penelitian, khususnya saat menghadapi permasalahan teknis maupun aspek-aspek lain yang memerlukan klarifikasi selama proses pengerjaan Tugas Akhir.

#### 3.2 Design Requirements and 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 Requirements and Objectives*

Type	Kategori	Parameter
Material	Must	1. Material yang digunakan untuk inti besi yoke adalah SS400.
		2. Material yang digunakan untuk koker atau tempat lilitannya menggunakan <i>paper bakelit</i> .
		3. Material yang digunakan untuk <i>casing</i> yoke adalah filamen.
Desain	Must	Didesain menggunakan <i>software solidwork</i>
Proses Manufaktur	Must	1. Proses manufaktur untuk inti besi yoke menggunakan metode milling.
		2. Setelah inti besi yoke selesai dibuat, dilakukan pembuatan lilitan dengan menggunakan <i>enameled copper wire</i> berdiameter 0.6mm.
		3. Proses manufaktur <i>casing</i> yoke menggunakan 3D printing.
Pengujian	Must	Dilakukan pengujian dengan menggunakan <i>pie ship</i> dan 2 spesimen yang berbeda sebanyak 1 kali percobaan pada setiap spesimen menggunakan yoke konvensional dan yoke tugas akhir.
	Wish	Hasil dari pengujian dinyatakan lolos uji apabila kerusakan dapat muncul.

Catatan: M= *Must*, W= *Wish*.

#### 3.3 Alat Yang Digunakan

Seluruh perangkat dan komponen yang digunakan dalam mendukung proses perancangan dan manufaktur yoke elektromagnetik dijelaskan secara rinci pada Tabel 2. Tabel tersebut mencakup daftar alat dan bahan yang meliputi komponen utama alat kontrol, elemen kelistrikan, serta berbagai perangkat pendukung lainnya yang digunakan dalam tahapan manufaktur dan pengujian secara keseluruhan. Pemilihan setiap komponen didasarkan pada spesifikasi teknis yang sesuai dengan kebutuhan alat untuk memastikan kinerja optimal.

Tabel 2 *Alat yang digunakan*

No.	Nama Alat	Jumlah
1.	Gerinda Potong	1
2.	Mesin Milling	1
3.	Bor	1
4.	<i>Solder</i>	1
5.	<i>screwdriver</i>	1
6.	<i>wrench</i>	1
7.	Lampu	1

8.	Light Meter	1
9.	Gauss meter	1
10.	Pie Ship	1
11.	Yoke Magnaflux Y-6	1
12.	MPI Ink	1
13.	Autosol Metal Polish	1
14.	Baja SS400	1
15.	Paper Bakelit	1
16.	Filamen	1

### 3.4 Perancangan Yoke Elektromagnetik

Perancangan rangkaian sistem magnetisasi yoke merupakan tahapan penting dalam membangun sistem magnetisasi, karena pada tahap inilah seluruh komponen kelistrikan dan mekanik dihubungkan serta diatur fungsinya. Rangkaian sistem magnetisasi 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.

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

$$N = \frac{35000}{I(LD + 2)}$$

N = jumlah lilitan pada coil

I = Arus kumparan

L = panjang benda uji

D = diameter atau ketebalan benda uji

Dik :

I = 6,4 A

L = 178 mm

D = 25 mm

Penyelesaian :

$$N_{6,4A} = \frac{35000}{(178/25)+2} = \text{Lilitan}$$

$$N_{6,4A} = \frac{35000}{(7.12)+2}$$

$$N = \frac{35000}{6.4(7.12+2)} = \frac{35000}{6.4 \times 9.12} = \frac{35000}{58.37}$$

$$N = \frac{35000}{58.37} = 599.5 = 600 \text{ lilitan}$$

$$N_{total} = 2 \times 600 = 1200 \text{ lilitan}$$

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

$$I = \frac{35000}{N(L/D) + 2}$$

Dik :

N = 480 lilitan

L = 178 mm

D = 25 mm

Penyelesaian:

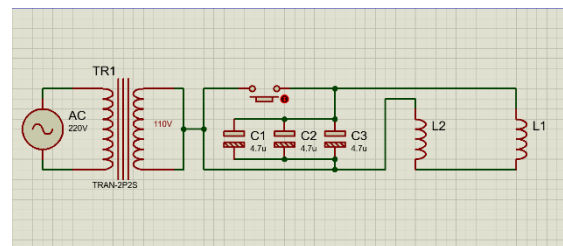
$$I = \frac{35000}{N(L/D)+2}$$

$$I = \frac{35000}{480(7.12+2)} = \frac{35000}{480 \times 9.12}$$

$$I = \frac{35000}{4377.6} = 7.99 = 8 \text{ A}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa jumlah lilitan yang diperlukan adalah 600 lilitan per coil dan 1200 lilitan total, kemudian dilakukan penentuan panjang kawat yang sesuai berdasarkan diameter yang tertera untuk arus sebesar 8 ampere.

#### 3.4.2 Skematik Wiring Diagram

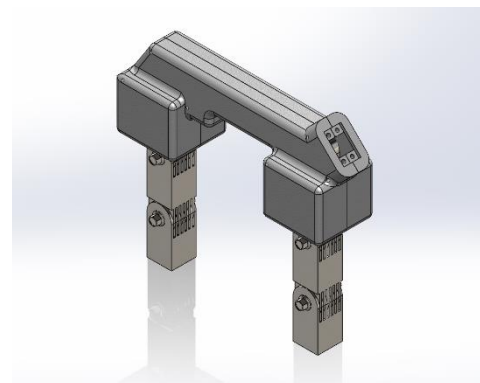


Gambar 2 Skematik Diagram Perangkat Yoke

Skematik diagram pada perangkat yoke dirancang menggunakan *software Proteus 8.1* yang dapat dilihat pada Gambar 2.

#### 3.4.3 Perancangan Alat

Pada tahap ini dilakukan perancangan yoke elektromagnetik untuk *Magnetic Particle Testing* menggunakan *software solidwork*. Pada bagian ini menentukan desain dan material yang akan digunakan untuk yoke. Desain yoke ditunjukkan pada Gambar 3.

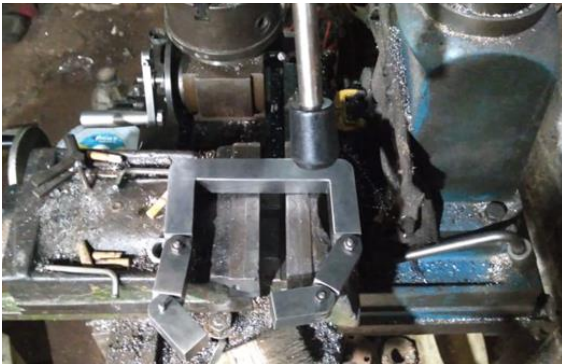


Gambar 3 3D Yoke Assembly

### 3.5 Proses Manufaktur

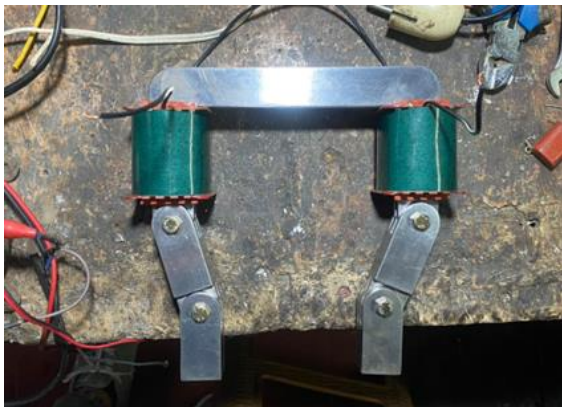
Setelah melakukan perancangan desain alat ini dibuat dengan proses machining yaitu grinding, milling, dan drilling. Material yang digunakan untuk inti besi beserta kaki yoke tersebut adalah besi bahan SS400 dengan ketebalan 25 mm dan berukuran 200 x 110 mm berbentuk balok atau bahan utuhnya yang kemudian dibentuk melalui proses machining.

Proses pembentukan inti besi yoke dilakukan dengan mesin milling dan gerinda untuk menghasilkan bentuk dan ukuran sesuai rancangan. Material yang digunakan berupa baja SS400 berukuran awal 200 × 110 mm dan tebal 25 mm. Material ini dipotong membentuk inti berbentuk U sebagai jalur fluks magnet, sementara sisa potongannya dimanfaatkan sebagai kaki yoke yang fleksibel. Pemanfaatan satu material ini mendukung efisiensi bahan serta keseragaman performa medan magnet. Dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Hasil Machining

Setelah proses machining selesai dan inti besi berbentuk huruf U berhasil dibentuk, tahap selanjutnya adalah pembuatan dan pemasangan kumparan pada masing-masing kaki inti. Hasil akhir dari proses pemuatan dan pemasangan kumparan, di mana dua buah kumparan telah dililitkan secara rapi dan simetris menggunakan *enameled copper wire* berdiameter 0.6 mm dapat dilihat secara visual pada Gambar 5.



Gambar 5 Hasil Pelilitan Kumparan

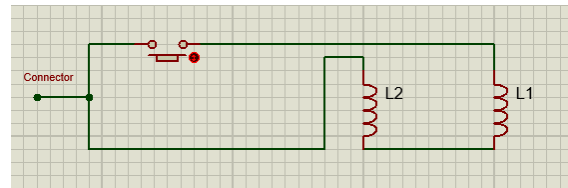
Masing-masing kumparan dililitkan sebanyak 480 lilitan dan diposisikan pada kaki yoke dengan koker sebagai penopangnya. Kaki yoke bersifat fleksibel, memungkinkan penyesuaian posisi selama proses pengujian partikel magnetik.

Setelah perakitan inti besi dan lilitan kumparan selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah proses instalasi komponen elektronik pendukung yang diperlukan untuk mengaktifkan yoke elektromagnetik dapat dilihat pada Gambar 6. Komponen utama yang digunakan dalam instalasi ini meliputi:

1. Konektor Listrik (*Terminal Input*)
2. *Switch Button* (Saklar Tekan)
3. Tiga Buah Kapasitor Nilai 475K 400V (Paralel)

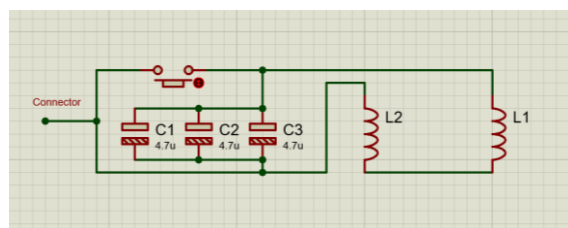


Gambar 6 Pemasangan Komponen



Gambar 7 Skematik Yoke Sebelum Diperbaiki

Skematik yoke elektromagnetik sebelum di perbaiki dapat dilihat pada Gambar 7. Skematik yoke elektromagnetik yang telah diperbaiki dapat dilihat pada Gambar 8. dimana perbedaan pada penambahan kapasitor sebanyak 3 buah yang berkapasitas 475K 400V.



Gambar 8 Skematik Yoke Setelah Diperbaiki

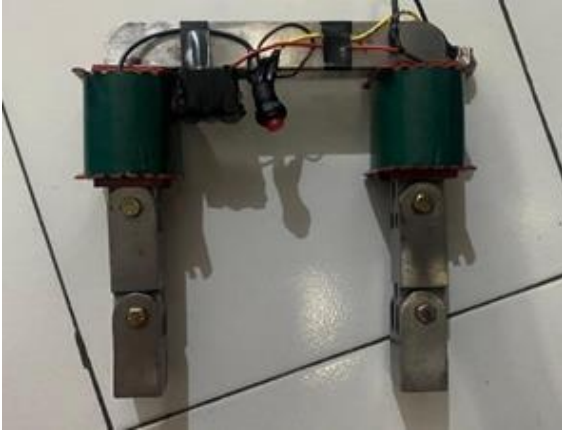
### 3.6 Pengujian

Pengujian kinerja yoke TA dilakukan sesuai dengan pedoman ASME Section V Article 7 dan ASTM E709, menggunakan *pie ship* serta dua spesimen uji dengan dimensi masing-masing 200 × 100 × 5 mm. Spesimen tersebut digunakan untuk mengevaluasi kemampuan yoke dalam menghasilkan medan magnet, yang selanjutnya diamati apakah medan magnet tersebut mampu menunjukkan indikasi cacat permukaan secara efektif atau tidak. (8)

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Desain

Setelah dilakukan proses perancangan dan desain alat magnetisasi menggunakan *software SolidWorks* didapat hasil pada Gambar 9.



Gambar 9 Hasil Desain

### 4.2 Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan menggunakan *pie ship* dan 2 spesimen yang berbeda dengan satu spesimen dilakukan 2 kali percobaan menggunakan yoke Magnaflux Y-6 dan yoke TA.

Tabel 3. Hasil Pengujian

No	Nama Bahan	Magmaflux Y-6	TA
1	Pie Ship	3 detik	1 menit 48 detik
2	MT-5866	3 detik	58 detik
3	MT-5863	3 detik	1 menit 15 detik

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada Yoke Magnaflux Y-6 dan yoke tugas akhir terhadap *pie ship* didapat hasil perbandingan seperti pada Gambar 10.



Gambar 10 Hasil Pengujian Pie Ship

Pengujian *pie ship* dengan metode *wet visible* menunjukkan bahwa yoke Magnaflux Y-6 mampu menampilkan indikasi diskontinuitas secara jelas dalam waktu 3 detik, dengan pola garis terang yang kontras terhadap permukaan. Sebaliknya, yoke TA memerlukan waktu 1 menit 48 detik untuk

memunculkan indikasi yang kurang jelas secara visual. Hasil ini menunjukkan bahwa Magnaflux Y-6 lebih efektif dan efisien dalam mendeteksi ketidakteraturan permukaan dibandingkan yoke TA.

Berdasarkan hasil pengujian pada spesimen A (MT-5866), yoke Magnaflux Y-6 menunjukkan performa lebih unggul dibandingkan yoke tugas akhir (TA). Indikasi diskontinuitas pada metode *wet visible* muncul dengan jelas dalam 3 detik saat menggunakan Magnaflux Y-6, sedangkan yoke TA memerlukan waktu 58 detik dengan visual yang kurang jelas. Hal ini menunjukkan bahwa Yoke Magnaflux Y-6 lebih efektif dan efisien dalam mendeteksi cacat permukaan dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Hasil Pengujian Spesimen A (MT-5866)

Berdasarkan hasil pengujian pada spesimen B (MT-5863), yoke konvensional menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan yoke tugas akhir (TA). Indikasi diskontinuitas muncul dengan jelas dalam waktu 3 detik saat menggunakan yoke konvensional, sedangkan yoke TA memerlukan waktu 1 menit 15 detik dengan visual yang kurang jelas. Hasil ini mengindikasikan bahwa yoke konvensional lebih responsif dan akurat dalam mendeteksi cacat permukaan dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Hasil Pengujian Spesimen B (MT-5863)

### 4.3 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian, yoke manufaktur (Magnaflux Y-6) terbukti lebih unggul dibandingkan yoke tugas akhir (TA) dari segi waktu deteksi dan desain indikasi. Pada pengujian *pie ship*, yoke Magnaflux Y-6 mendeteksi diskontinuitas dalam 3 detik dengan hasil visual yang tajam, sedangkan yoke TA memerlukan 1 menit 48 detik dengan hasil visual yang kurang tajam. Hal serupa terjadi pada spesimen A dan B, di mana yoke Magnaflux Y-6 konsisten mendeteksi dalam 3 detik dengan hasil visual yang jernih, sedangkan yoke TA membutuhkan waktu lebih lama dengan hasil yang kurang jernih.

Meski masih tertinggal dalam hal waktu deteksi, yoke TA menawarkan keunggulan desain yang signifikan. Dengan bobot 2.6 kg atau sekitar 25.7% lebih ringan dari Magnaflux Y-6 yang memiliki bobot sebesar 3.5 kg, alat ini lebih ergonomis dan mengurangi kelelahan saat digunakan berulang oleh operator. Kaki yoke yang fleksibel juga

memungkinkan pengujian pada permukaan tidak rata yang sulit dijangkau oleh yoke konvensional.

Dari sisi biaya, yoke TA hanya membutuhkan sekitar 26.5% dari harga pasar Magnaflux Y-6 karena menggunakan komponen lokal dan metode manufaktur sederhana seperti pencetakan 3D dan pelilitan manual.

Sebagai solusi, yoke TA perlu disempurnakan dari segi desain dan distribusi medan magnet. Kalibrasi ulang dan pengujian lanjutan juga disarankan untuk meningkatkan performanya agar mendekati standar industri. Meski memiliki keterbatasan dalam waktu deteksi, yoke TA menawarkan keunggulan strategis seperti *casing* berbahan cetak 3D yang ringan dan fleksibel terhadap berbagai bentuk spesimen, bobot yang lebih rendah untuk mengurangi kelelahan operator, serta biaya produksi yang jauh lebih ekonomis akibat penggunaan komponen lokal dan proses manufaktur sederhana. Kombinasi desain ergonomis, kenyamanan, dan efisiensi biaya menjadikan yoke TA sebagai solusi adaptif yang potensial untuk direplikasi di lingkungan pendidikan dengan keterbatasan fasilitas NDT, serta menunjukkan kontribusi nyata dalam pengembangan alat uji yang aplikatif dan terjangkau.

## 5. KESIMPULAN

Setelah melaksanakan seluruh rangkaian kegiatan dalam penyusunan dan pengujian alat yoke elektromagnetik berbasis arus AC, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah berhasil dirancang dan dibuat alat yoke elektromagnetik berbasis arus AC dengan memanfaatkan material inti besi SS400 berukuran  $200 \times 110 \times 25$  mm yang dibentuk menjadi struktur huruf "U" melalui proses machining menggunakan mesin milling.
2. Proses perakitan kumparan dilakukan dengan melilitkan *enameled copper wire* berdiameter 0.6 mm sebanyak total 960 lilitan (masing-masing 480 lilitan per kaki), namun pada pengujian awal medan magnet yang dihasilkan masih tergolong lemah. Sumber daya yang digunakan berasal dari trafo step-down 220V ke 110V AC dengan output arus 6.4 A. Nilai ini belum mencukupi kebutuhan ideal sebesar 115V, yang menyebabkan daya magnetisasi kurang maksimal dan indikasi cacat pada spesimen kurang terlihat. Untuk memperbaiki performa, dilakukan penambahan 3 buah kapasitor 475k 400V secara paralel untuk membantu menstabilkan tegangan dan meningkatkan efisiensi medan magnet.
3. Pengujian dilakukan pada dua spesimen berukuran  $200 \times 100 \times 5$  mm menggunakan metode *wet visible* dengan membandingkan hasil antara yoke TA dan yoke Magnaflux Y-6. Hasil menunjukkan bahwa alat yoke TA mampu menampilkan indikasi retakan, meskipun dengan waktu yang lebih lama dan intensitas yang kurang kuat. Setelah dilakukan

modifikasi, medan magnet yang dihasilkan meningkat, namun temperatur yoke naik secara signifikan sehingga masih memerlukan penyempurnaan lebih lanjut.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Cook JF, Holm J, Lassahn GD. Nondestructive examination of welds through painted surfaces: Final report. 1988.
2. Jurusan D, Mesin T. Rancang bangun ulang alat magnetic oleh Wina Yuliana Sumarna. Politeknik Negeri Bandung. 2023.
3. Magnetic Particle Testing. NDE Center Department of Naval Architecture and Shipbuilding Engineering, Faculty of Marine Technology, Sepuluh Nopember Institute of Technology (ITS)-Surabaya. [Online]. Available: [www.ndecenter.com](http://www.ndecenter.com)
4. Zeng Z. Modeling of current excitation waveforms for magnetic particle inspection. AIP Publ. 2003;Feb:1984–1990. doi:10.1063/1.1473036.
5. Torres MM, Migliano ACC, Neto FS. Determination of optimum test parameters for magnetic particle inspection which uses the yoke technique. Non-destructive Test. '92. 1992;Jan:476–480. doi:10.1016/B978-0-444-89791-6.50101-3.
6. Wang B, Zhong S, Lee TL, Fancey KS, Mi J. Non-destructive testing and evaluation of composite materials/structures: A state-of-the-art review. Adv Mech Eng. 2020;12(4):1–28. doi:10.1177/1687814020913761.
7. Capabilities G, et al. Chapter 3 Magnetic Particle Inspection Method. Sect I: Magnetic Particle (Mt) Inspection Method. 2019.
8. ASTM International. Standard Practice for Magnetic Particle Testing for Aerospace. [Online]. Available: [https://store.astm.org/e1444\\_e1444m-22a.html](https://store.astm.org/e1444_e1444m-22a.html)
9. Amdani M. Buku Informasi Melakukan Magnetic Particle Test (Mt) C.24Las01.035.1. 2018:1–37.
10. Edukasikini. Trafo Step Down 220V ke 110V: Prinsip Kerja, Aplikasi, dan Pertimbangan Teknikal. [Online]. Available: <https://www.edukasikini.com/2024/11/trafo-step-down-220v-ke-110v-prinsip.html>