

## STUDI KELAYAKAN SISTEM INDUKSI MEDAN MAGNET MENGGUNAKAN SINGLE TRANCEIVER PADA BAHAN FERROMAGNETIK DAN NON-FERROMAGNETIK

### FEASIBILITY STUDY OF MAGNETIC FIELD INDUCTION SYSTEM BY USING SINGLE TRANCEIVER ON FERROMAGNETIC AND NON FERROMAGNETIC MATERIAL

Dian Arum Novitasari<sup>1</sup>, Dudi Darmawan<sup>2</sup>, Mahfudz Al-Huda<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

<sup>3</sup>C-TECH Lab Edward Technology

<sup>1</sup>[dianarum.novitasari.da@gmail.com](mailto:dianarum.novitasari.da@gmail.com), <sup>2</sup>[dudidw@gmail.com](mailto:dudidw@gmail.com), <sup>3</sup>[huda1126@gmail.com](mailto:huda1126@gmail.com)

#### Abstrak

Telah dibuat sistem induksi medan magnet yang menggunakan satu koil pemancar dan satu koil penerima. Adanya eksitasi sinyal sinus pada koil pemancar (*transmitter*) menimbulkan medan magnet yang berubah-ubah sehingga menimbulkan gaya gerak listrik (ggl) induksi pada koil penerima (*receiver*). Salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya medan magnet adalah permeabilitas medium antara koil pemancar dan penerima. Jika penggunaan sinyal eksitasi kumparan dan yang terukur berupa kumparan pada sisi penerima atau biasa disebut *electrodeless*. Pengembangan awal ini didasari dengan konsep metoda *Magnetic Inductance Tomography* (MIT). Perancangan awal koil dan sistem koil dibantu dengan Simulasi COMSOL 4.4 Multiphysics®.

Simulasi COMSOL dapat menunjukkan nilai induktansi, sebaran pola medan magnet. Koil dibuat berupa solenoida menggunakan kawat dengan diameter 0.8 mm, jumlah dan panjang lilitan masing-masing 50 dan 48 mm. Secara keseluruhan perbedaan nilai induktansi pada simulasi dengan eksperimen adalah 0.017 mH. Dengan input sebesar 10 Volt didapatkan jarak maksimum dan minimum koil masing-masing 2 cm dan 11 cm. Frekuensi kerja sistem koil yaitu 5 MHz. Sistem koil ini mampu membedakan bahan ferromagnetik dan non-ferromagnetik berupa parafin, campuran parafin dan besi, besi dan baja. Sistem koil juga mampu membedakan kondisi cacat berupa lubang dengan diameter 16 cm dengan jarak antar koil 4 cm.

**Kata kunci :** koil, induksi medan magnet, arus *eddy*

#### Abstract

A magnetic field induction system has been developed using single coil transmitter and receiver. The presence of a sine signal excitation on the transmitter coil generates an alternating magnetic field causing an induced electromotive force (emf) to the receiver coil (receiver). One of the factors that affect the magnitude of the magnetic field is the permeability of the medium between the transmitting and receiving coils. If the use of coil and measured excitation signals are coils on the receiving side or commonly called *electrodeless*. This initial development is based on the concept of *Magnetic Inductance Tomography* (MIT) method. The initial design of coils and coil systems is aided by COMSOL 4.4 Multiphysics® Simulation. COMSOL simulation can show inductance value, magnetic field pattern distribution. The coil is made of a solenoid using a wire of 0.8 mm in diameter, the number and length of windings of 50 and 48 mm respectively. Overall difference of inductance value in simulation with experiment is 0.017 mH. With an input of 10 Volt, the maximum and minimum distance of each coil are 2 cm and 11 cm respectively. The working frequency of the coil system is 5 MHz. The coil system is capable of distinguishing ferromagnetic and non-ferromagnetic materials in the form of paraffin, paraffin and iron mixture, iron and steel. Coil system is able to distinguish the defect condition of a hole with a diameter of 16 cm with a distance between coils 4 cm.

**Keywords:** coils, magnetic field induction, eddy current.

#### 1. Pendahuluan

Dalam dunia industri *quality control*, seorang inspektor atau seorang engineer untuk dapat melakukan sesuatu yang bertujuan untuk memudahkan pekerjaan dan meningkatkan akurasi sekaligus dalam meningkatkan segi finansial maupun waktu. Beberapa metoda yang biasa dilakukan oleh seorang *inspektor* untuk menginspeksi salah satunya adalah *non-destructive testing* (NDT). NDT atau pengujian tanpa merusak adalah suatu pengujian yang dilakukan terhadap suatu benda/material tanpa merusak struktur benda/material tersebut.

Salah satu metoda NDT untuk mengetahui kondisi suatu objek yang melalui pemetaan distribusi resistivitas menggunakan metoda tomografi. Dalam menentukan tomografi dapat dilihat dari besaran fisis yang dieksitasi dan yang terukur. Dalam penelitian ini penggunaan eksitasi kumparan dan yang terukur berupa kumparan pada sisi

penerima atau biasa disebut *electrodeless*. Metoda tomografi jenis ini adalah *magnetic induction tomography* (MIT).

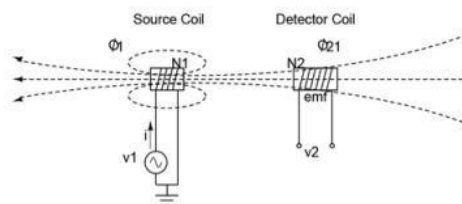
Prinsip pengukuran MIT Dengan mengalirkan arus bolak balik kedalam koil *exciter* atau *transmitter* yang mana akan menghasilkan medan magnet *primer* kemudian akan diinduksikan ke koil *receiver*. Dari koil *receiver* akan didapatkan data tegangan induksi. Namun, jika ada suatu benda yang bersifat konduktif dan diletakkan diantara keduanya, maka arus eddy muncul dan dapat menghasilkan medan magnet disebut medan magnet sekunder.

Pada penelitian ini akan dilakukan studi awal dalam mengembangkan sistem MIT yaitu uji kelayakan pada sistem induksi medan magnet yang cukup layak menghasilkan besaran yang dapat diobservasi pada bahan ferromagnetik dan non-ferromagnetik dan mampu membedakan kondisi pada bahan tersebut. Hal ini yang menjadi fokus utama pada penelitian tugas akhir ini. Uji kelayakan sistem induksi medan magnet ini dilakukan melalui studi simulasi dan eksperimen. Dengan studi simulasi dan eksperimental ini, diharapkan sistem ini dapat mendeteksi bahan ferromagnetik, non-ferromagnetik dan juga mampu membedakan kondisi pada bahan tersebut

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Medan Magnet pada Sistem Induksi Medan Magnet

MIT dikategorikan sebagai keluarga pencitraan pasif dengan teknik *electrodeless* melalui penggunaan eksitasi kumparan untuk menginduksi medan elektromagnetik dalam materi, yang kemudian diukur pada sisi penerima dengan sensor[1]. Gambar 1 menggambarkan sifat dasar dari MIT sebagai *mutual inductance*. Arus pada koil pemancar menghasilkan fluks ( $\phi$ ), sehingga menginduksi ke koil penerima dan menghasilkan medan magnet sekunder (emf).



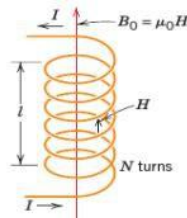
Gambar 1 Ilustrasi mutual inductance [1]

$$M = N_2 \frac{d\Phi_{21}}{dt} \quad (1)$$

Induksi timbal balik disebabkan oleh adanya fluks pada koil penerima dan fluks tersebut terinduksi dari arus koil pemancar. Sehingga dapat didefinisikan bahwa fluks pada suatu koil yang tergantung pada perubahan arus lainnya.

### 2.2 Sensor Koil Solenoida

Sensor berbentuk koil solenoida, adalah kawat yang dililitkan berbentuk silinder, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Apabila solenoida dialiri arus konstan searah maka akan menimbulkan beda potensial antara dua ujung solenoid hampir nol karena beda potensial sama dengan perkalian arus dan hambatan solenoid[2]



Gambar 2 koil solenoida [2]

Besar induksi magnet pada pusat kumparan solenoid yang panjangnya  $l$  dan jumlah lilitan  $N$  dinyatakan dengan :

$$B = \frac{\mu_0 I N}{l} \quad (2)$$

Sedangkan besar induksi magnet di tepi (ujung solenoid) adalah :

$$B = \frac{\mu_0 I N}{2l} \quad (3)$$

Untuk mengetahui nilai induktansi diri pada *single layer air core* dapat dijelaskan melalui pendekatan empiris dengan H.A Wheeler's:

$$L = \frac{a^2 N^2}{(9a + 10b)} \quad (4)$$

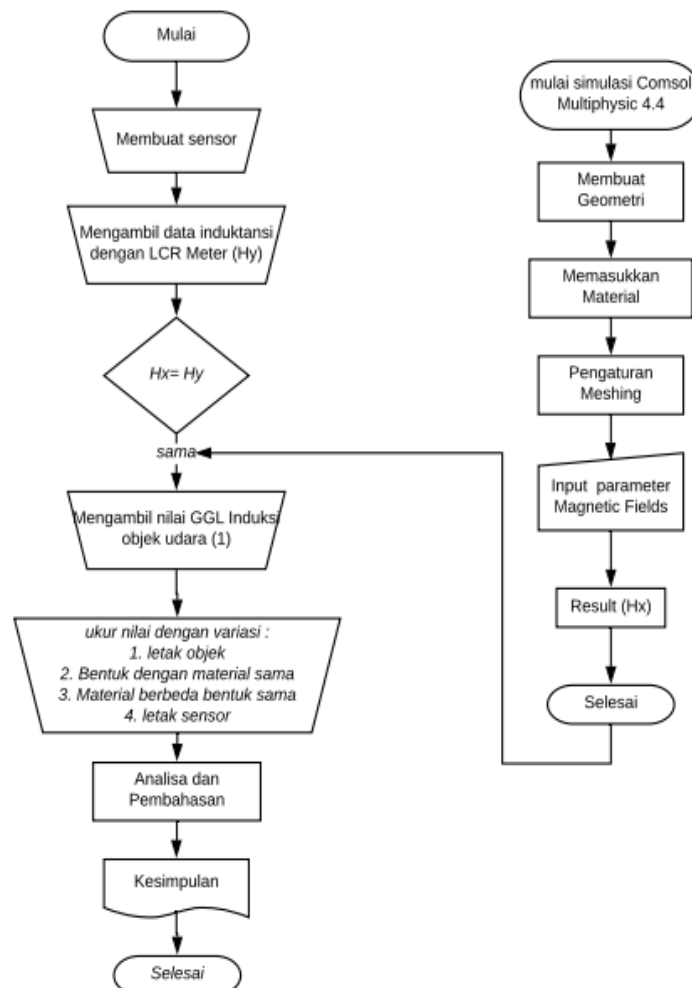
dimana N adalah jumlah lilitan, a dan b masing-masing adalah jari-jari dan panjang koil. Dimensi dalam inci. N adalah jumlah lilitan dan L adalah induktansi diri (H)

### 2.3 Magnetik Permeabilitas

Magnetik permeabilitas  $\mu$  adalah skalar dalam media isotropic. Ditinjau dari permeabilitas relatifnya, bahan dapat dikelompokkan dalam ferromagnetik, diamagnetik dan paramagnetik.

### 3. Prosedur Penelitian

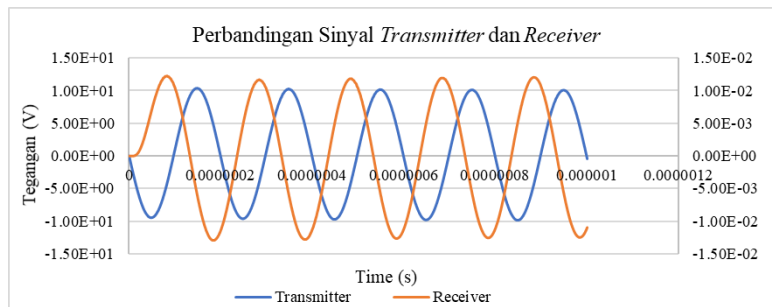
Gambar blok diagram 3 menunjukkan tahapan secara keseluruhan dari proses penelitian.



Gambar 3 Diagram blok penelitian.

### 4. Hasil dan Pembahasan

Besar nilai induktansi koil diukur dengan menggunakan alat ukur LCR meter Gw- INSTEK LCR-821. Hasil nilai induktansi koil antara simulasi dan eksperimen adalah 0.05162 mH dan 0.069434 mH untuk koil 1, 0.06976 mH untuk koil 2. Frekuensi kerja koil adalah 5 MHz. Secara sistem koil dengan didapatkan jarak terjauh koil yaitu 11 cm dan terdekat 2cm. Melihat beda fasa antara sinyal transmitter dan receiver, sistem koil diberikan tegangan *exciter* 10 Volt dan jarak 11cm.

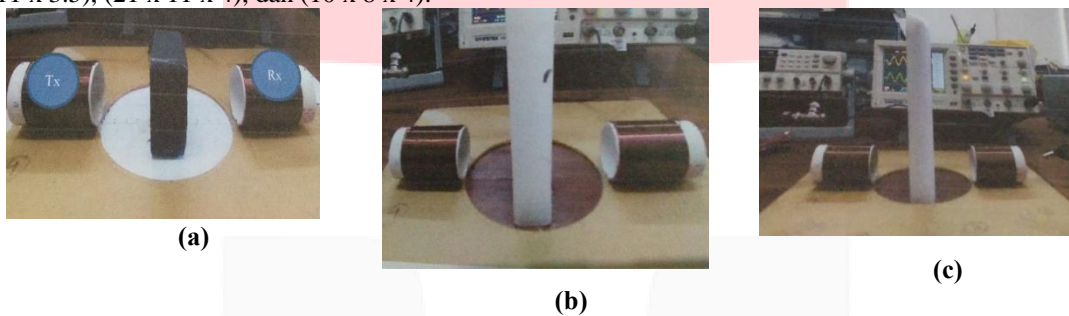


Gambar 4 Grafik perbandingan sinyal *transmitter* dan *receiver*.

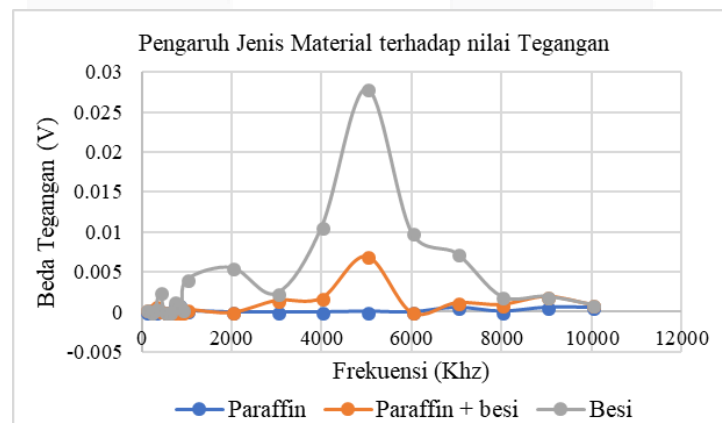
Gambar 4 menunjukkan bentuk sinyal pada koil *receiver* memiliki bentuk yang sama dengan *transmitter* yaitu gelombang sinus. Sinyal *receiver* mengalami pergeseran fasa sekitar  $90^{\circ}$ . Hal ini dikarenakan besarnya tegangan induksi pada koil *receiver* sebanding dengan minus laju perubahan fluks yang diakibatkan oleh koil *transmitter*.

#### 4.1 Variasi Objek Uji

Dalam proses pengujian jarak antar koil adalah 11 cm dan objek uji diletakkan ditengah - tengah antar koil seperti Gambar 4.9, 4.10, 4.11 dimensi objek uji paraffin, campuran paraffin dan besi, besi masing masing adalah (21 x 11 x 3.5), (21 x 11 x 4), dan (10 x 8 x 4).



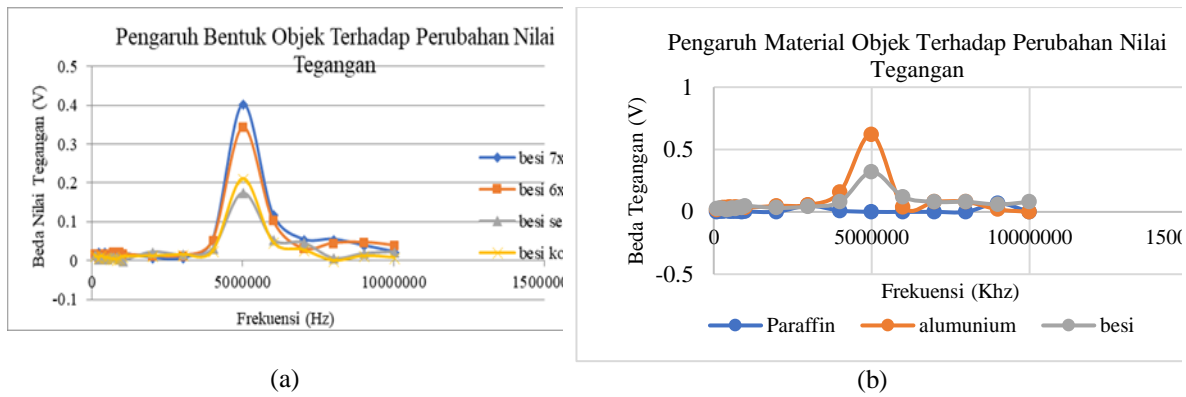
Gambar 5 Posisi letak objek (a) besi, (b) paraffin, (c) campuran besi dan paraffin



Gambar 6 Grafik pengaruh jenis material terhadap nilai beda tegangan.

Gambar 6 menunjukkan grafik sensitivitas koil terhadap perubahan jenis bahan. Jadi, terlihat sistem sensor ini mampu membedakan ferromagnetik dan non-ferromagnetik. Perubahan nilai tegangan paling besar adalah besi. Hal ini dikarenakan besi memiliki nilai konduktifitas paling besar diantara bahan lainnya yaitu paraffin dan campuran bahan paraffin dan besi sebesar  $1.0 \times 10^7$  [2].

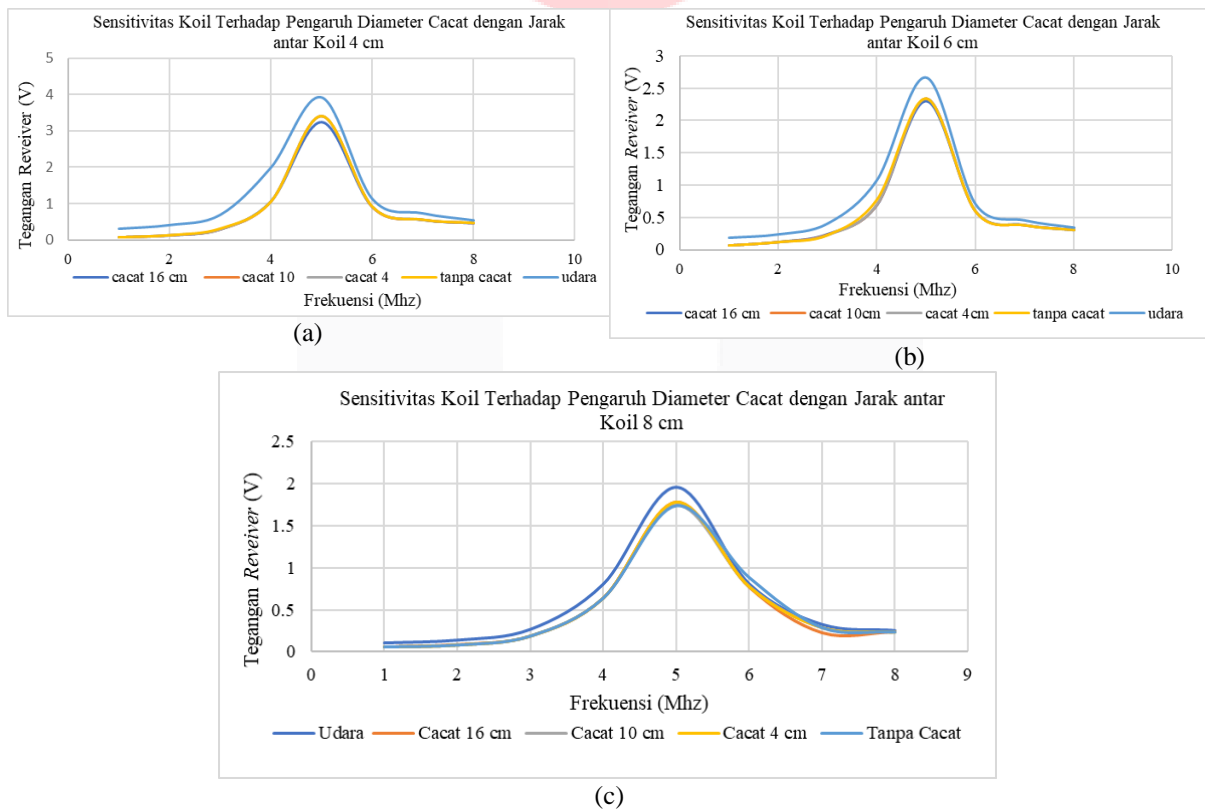
Karena pada saat uji sensitivitas bahan ferromagnetik dan non-ferromagnetik bahan uji memiliki dimensi yang berbeda maka pada uji selanjutnya perlu menguji sensitivitas bentuk objek terhadap bahan uji yang sama dan bahan uji yang beda namun dimensi yang sama. Gambar 4.13 dan gambar 4.14 secara berturut-turut menunjukkan grafik sensitivitas koil terhadap bentuk objek dan bahan uji yang beda namun dimensi yang sama.



Gambar 7 Grafik sensitivitas sistem koil (a) bentuk objek (b) bahan uji dengan dimensi yang sama

#### 4.2 Data Tegangan dengan Objek Cacat

Pada penelitian ini juga melihat sejauh mana kesensitifan sistem koil terhadap objek yang kondisi diberi cacat berupa lubang dengan diameter 4 cm, 10 cm dan 16 cm. Jarak antar koil adalah 4 cm. Dan tegangan exciter yang diberikan 10 Vpp dengan objek berupa baja dengan ketebalan 10.22 mm.



Gambar 8 Grafik sensitivitas sistem koil terhadap lubang pada baja (a) jarak 4 cm, (b) 6 cm, (c) 8 cm.

Dari hasil memperlihatkan bahwa sistem koil dapat mendeteksi perbedaan cacat pada objek baja dengan jarak antar koil 4 cm dan diameter cacat 16 cm

#### 5. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan perancangan sistem koil yang telah dibuat, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu telah dibuat prototipe sistem dengan menggunakan COMSOL Multiphysics 4.4 untuk memudahkan pengaturan parameter koil, beda nilai induktansi yang didapat antara simulasi dan eksperimen 0.0136, hasil pengukuran secara manual didapatkan dengan letak koil berhadapan jarak minimum 2 cm dan jarak maksimum 11 cm, sensor sistem

koil dapat mendeteksi cacat pada objek pelat baja dengan jarak 4 cm dengan diameter 16 cm, sistem sensor koil dapat membedakan bahan material yang bersifat ferromagnetik dan non-ferromagnetik.

## 6. Daftar Pustaka

- [1] “Chapter 11. Inductance and Magnetic Energy”. [Online] Available at : <http://web.mit.edu/viz/EM/visualizations/coursenotes/modules/guide11.pdf> [diakses 5 Mei 2018]
- [2] Puji, Muhammad Nurul, 2015, *Perancangan Sistem Volumetric Magnetic Induction Tomography Menggunakan 8 Koil Pemancar dan 8 Koil Penerima*. Universitas Indonesia, Depok.

