

# STUDI EKSPERIMENTAL KELAYAKAN SISTEM INDUKSI MEDAN MAGNET DENGAN METODE ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY (ICEIT) PADA BAHAN NON-FERROMAGNETIK

## EXPERIMENTAL STUDY OF THE FEASIBILITY OF THE MAGNETIC FIELD INDUCTION SYSTEM WITH INDUCED CURRENT ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY METHOD ON NON-FERROMAGNETIC MATERIALS

Diah Ayu Sitoresmi<sup>1</sup>, Dudi Darmawan<sup>2</sup>, Reza Fauzi Iskandar<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Pogram Studi S - 1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom  
<sup>1</sup>diahayusitoresmi117@gmail.com, <sup>2</sup>dudidw@gmail.com, <sup>3</sup>rezafauzii@gmail.com

### Abstrak

Proses identifikasi dilakukan untuk mendeteksi dan mengevaluasi terhadap ketidakhomogenan atau anomali tanpa merusak objek uji secara langsung. Salah satu indikator adanya anomali adalah ketidakhomogenan parameter fisis objek uji. Proses identifikasi dengan metode NDT dilakukan melalui penentuan parameter fisis melalui metode ICEIT. Dengan menggunakan metode ICEIT diharapkan mampu mengatasi persoalan *ill-posed* pada metode ACEIT. Namun pada metode ICEIT dihadapkan pada persoalan ketidakhomogenan medan magnet penginduksi. Maka diperlukan kesesuaian parameter fisis sistem induksi medan magnet yang digunakan.

Perancangan model sistem induksi medan magnet metode ICEIT dilakukan untuk mendapatkan data potensial *boundary* batas tepi objek uji yang mencerminkan data resistivitas. Berdasarkan hasil eksperimen pengujian menunjukkan bahwa penentuan parameter fisis menghasilkan data pengukuran potensial *boundary* layak terukur dengan alat ukur standar laboratorium. Validasi data dilakukan dengan perbandingan data hasil pengukuran dengan data hasil simulasi. Parameter fisis sistem induksi medan magnet yang paling efektif ditentukan oleh frekuensi  $f = 10 \text{ KHz}$ , sumber arus listrik  $I_0 = 3,7 \text{ mA}_{pp}$ , dan jumlah lilitan koil penginduksi  $N = 600$  lilitan. Tingkat akurasi (*error*) data pada objek uji homogen adalah 3,61 % dan anomali adalah 4,41 %. Sehingga data pengukuran potensial *boundary* hasil eksperimen dapat dilakukan rekonstruksi citra tomografi untuk proses identifikasi.

**Kata kunci : identifikasi, homogen, anomali, parameter fisis, metode ICEIT, potensial boundary.**

### Abstract

*The identification process is performed to detect and evaluate the non-homogeneity or anomaly without damaging the test object directly. One indicator of the existence of anomalies is the inhomogeneity of the physical parameters of the test object. The identification process by NDT method is done by determining the physical parameters through ICEIT method. By using ICEIT method, it is expected can solve the ill-posed problem on ACEIT method. However, the ICEIT method is faced with the problem of induced magnetic field inhomogeneity. It is necessary to match the physical parameters of the magnetic field induction system that used.*

*The design of induced magnetic field system with ICEIT method is performed to obtain the boundary potential data of the test object that reflect the resistivity data. Based on the experimental results of the test showed that the determination of physical parameters produced measurable boundary measurement data using standard laboratory measurement instruments. Validation of the data is done by comparison of measurement data with the result of simulation data. The most effective physical parameters of the magnetic induction system are determined by frequency  $f = 10 \text{ KHz}$ , electric current source  $I_0 = 3.7 \text{ mA}_{pp}$ , and the amount of inductor coil winding  $N = 600$  turns. The accuracy level (*error*) data on the homogeneous test object is 3.61 % and the anomaly is 4.41 %. So the potential boundary measurement data of the experimental result can be done tomographic image reconstruction for the identification process.*

**Keyword : identification, homogeneous, anomaly, physical parameters, ICEIT method, boundary potential.**

### 1. Pendahuluan

Proses identifikasi dilakukan untuk mendeteksi terhadap ketidakhomogenan atau anomali pada objek uji. Untuk menjaga kondisi dan kualitas objek uji diperlukan metode yang tidak merusak objek uji secara langsung dengan metode NDT. Salah satu indikator adanya anomali adalah ketidakhomogenan parameter fisis objek uji. Proses identifikasi dengan metode NDT salah satunya dapat dilakukan dengan penentuan parameter fisis melalui metode tomografi. Metode tomografi yang sedang banyak dikembangkan adalah metode EIT.

Metode EIT menerapkan injeksi arus listrik konstan pada bidang batas tepi objek uji sehingga kurang sensitif terhadap perubahan distribusi resistivitas di tengah objek uji sehingga diperlukan energi eksitasi dari induksi medan magnet. Metode induksi medan magnet diperlukan medan magnet yang cukup besar. Mengingat metode EIT relatif aman maka sistem induksi medan magnet digunakan bahan non-ferromagnetik. Induksi medan

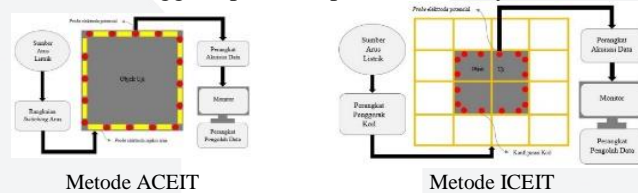
magnet dalam metode EIT dikenal dengan metode ICEIT. Dengan menggunakan metode ICEIT diharapkan energi eksitasi dapat menjangkau permukaan objek uji yang jauh dari bidang batas sehingga dapat mengatasi persoalan *ill-posed* pada injeksi arus listrik dalam metode EIT yang dikenal dengan metode ACEIT. Namun persoalan penting pada metode ICEIT adalah ketidakhomogenan medan magnet penginduksi. Oleh karena itu diperlukan kesesuaian penggunaan parameter fisis sistem induksi medan magnet, yaitu dengan melakukan variasi terhadap frekuensi eksitasi, arus listrik eksitasi, jumlah lilitan koil penginduksi, jarak induksi, jumlah penginduksian, pola konfigurasi posisi koil penginduksi, bentuk koil penginduksi, bentuk objek uji, letak elektroda potensial, metode pengukuran potensial, maupun metode rekonstruksi.

Dalam beberapa metode ACEIT rotasi injeksi arus listrik pada objek uji sirkular hanya menghasilkan satu pola distribusi potensial yang sama. Oleh karena itu pada penelitian dengan metode ICEIT ini menggunakan objek uji rektanguler. Hal ini dikarenakan bentuk objek uji rektanguler dapat menghasilkan pola distribusi potensial yang berbeda sehingga dapat mengatasi persoalan *ill-posed*. Dengan penggabungan bentuk koil penginduksi dan objek uji rektanguler diharapkan persoalan ketidakhomogenan medan magnet penginduksi. Oleh karena itu penelitian ini menitikberatkan pada penentuan kelayakan parameter fisis sistem induksi medan magnet metode ICEIT dalam skala laboratorium.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1. Metode EIT

Tomografi merupakan metode yang digunakan untuk mendapatkan gambaran atau pemetaan bagian dalam objek uji tanpa pengambilan sample. Metode EIT adalah metode untuk memetakan distribusi resistivitas berdasarkan pengukuran potensial *boundary* pada bidang batas tepi objek uji [1]. Pada metode EIT terdapat dua macam cara dalam menerapkan energi eksitasi yaitu berasal dari sumber arus konstan bolak-balik (AC) yang dapat melalui sistem injeksi arus listrik dan sistem induksi medan magnet. Sistem injeksi arus listrik pada metode EIT dikenal dengan ACEIT. Sedangkan sistem induksi medan magnet pada metode EIT dikenal dengan ICEIT. Metode ICEIT merupakan pengembangan dari metode ACEIT. Metode ICEIT diharapkan mampu mengatasi kekurangan metode ACEIT, yaitu persoalan *ill-posed* akibat sensitivitas terhadap perubahan resistivitas. Data potensial *boundary* hasil pengukuran diakuisisi sehingga dapat ditampilkan dalam layar monitor, seperti pada Gambar 2.1.



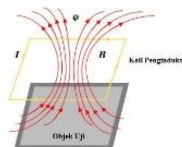
Gambar 2.1. Sistem Koleksi Data Potensial Metode EIT

### 2.2. Metode ICEIT

Metode ICEIT merupakan salah satu metode pencitraan yang bersifat tidak kontak langsung terhadap objek uji. Metode ICEIT ini dapat mengatasi persoalan fungsi ganda elektroda potensial pada metode ACEIT [2]. Induksi medan magnet dilakukan dengan cara injeksi arus listrik pada koil penginduksi dengan jarak tertentu terhadap objek uji. Injeksi arus listrik konstan pada koil penginduksi menimbulkan adanya induksi medan magnet. Medan magnet yang timbul merupakan sumber medan magnet buatan.

Penerapan arus listrik yang dialirkan pada kawat penghantar konduktor dapat menggerakkan arah jarum kompas pertama kali ditemukan oleh Hans Christian Oersted pada tahun 1820 yang dikenal dengan Hukum Oersted [3]. Arah medan magnet sangat ditentukan oleh arah arus listrik yang mengalir pada kawat penghantar konduktor tersebut dengan kaidah tangan kanan. Dalam menentukan besar medan magnet oleh kawat penghantar konduktor berarus digunakan Hukum Biot-Savart oleh Jeans Baptiste Biot pada tahun (1774-1862) dan Felix Savart pada tahun (1791-1841) [3].

Sumber medan magnet buatan inilah yang mengakibatkan adanya fluks magnet ( $\phi$ ), seperti pada Gambar 2.2.

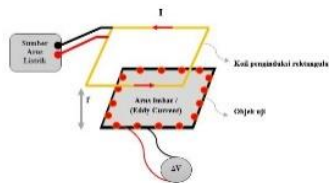


Gambar 2.2. Fluks Magnet

Perubahan Fluks magnet terjadi karena perubahan besar medan magnet yang menembus objek uji. Oleh karena itu diperlukan injeksi arus listrik konstan bolak-balik (AC). Akibat adanya perubahan fluks magnet maka muncul arus induksi/*eddy current*. Arus induksi ini dipengaruhi oleh gaya gerak listrik imbas ( $\epsilon$ ) yang merupakan beda potensial akibat perubahan fluks magnet ( $d\phi$ ) dikenal dengan Hukum Induksi Faraday, seperti pada persamaan (2.1.).

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (2.1.)$$

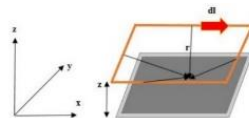
Arus induksi yang muncul membentuk pola distribusi potensial yang mencerminkan distribusi resistivitas pada luas permukaan objek uji. Distribusi potensial dapat diamati dengan pengukuran nilai potensial boundary batas tepi objek uji, seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Metode ICEIT

Pada metode ACEIT injeksi arus listrik berdampak pada persoalan ketidaksensitifan perubahan resistivitas atau konduktivitas letaknya jauh dari bidang batas tepi objek uji. Sedangkan pada metode ICEIT injeksi arus listrik melalui sistem induksi medan magnet dilakukan pada seluruh permukaan objek uji melalui letak pola konfigurasi koil penginduksi. Dengan metode ICEIT ini diharapkan dapat mendeteksi terhadap setiap perubahan resistivitas objek uji melalui konfigurasi koil penginduksi [4]. Persoalan terpenting dalam metode ICEIT adalah cara untuk mendapatkan pola konfigurasi koil penginduksi sehingga dapat meningkatkan daya deteksi terhadap setiap perubahan resistivitas. Dengan penambahan jumlah induksi maka dapat memperbanyak jumlah data hasil pengukuran sehingga dapat mengatasi persoalan *ill-posed* dan mempermudah proses citra terkonstruksi tomografi.

Hasil induksi medan magnet ditentukan oleh distribusi potensial magnet. Potensial magnet bergantung pada frekuensi, arus listrik, bentuk koil penginduksi, jumlah lilitan koil penginduksi, dan jarak koil penginduksi ke objek uji, seperti pada Gambar 2.4 [5].



Gambar 2.4. Vektor Induksi Medan Magnet

Induksi medan magnet pada suatu titik oleh segmen penghantar  $\vec{dl}$  yang dialiri arus listrik  $I$  memenuhi persamaan Biot-Savart, seperti persamaan (2.2.).

$$\vec{B} = \int d\vec{B} = \int \frac{\mu_0 I \vec{dl} \times \hat{r}}{4\pi r^2} \quad (2.2.)$$

Hubungan potensial magnet  $\vec{A}$  dengan induksi medan magnet  $\vec{B}$  memenuhi sehingga memenuhi persamaan (2.3.).

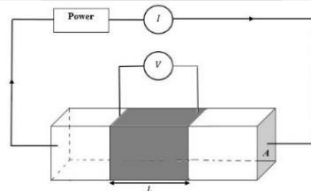
$$\vec{A} = \int \frac{\mu_0 I \vec{dl} \times \hat{r}}{4\pi r} \quad (2.3.)$$

Sehingga potensial medan magnet diperoleh dengan menjumlahkan keempat sisi penghantar koil rektanguler, seperti pada persamaan (2.4.).

$$\vec{A} = \sum_1^4 KI \int_0^L \left[ \left( \frac{z dx - y dz}{r^2} \right) \hat{i} + \left( \frac{x dz - z dx}{r^2} \right) \hat{j} + \left( \frac{y dx - x dy}{r^2} \right) \hat{k} \right] \quad (2.4)$$

### 2.3. Resistivitas Tanah

Struktur tanah terdiri dari beberapa lapisan yang mengakibatkan perbedaan nilai resistivitas berdasarkan jenisnya. Perbedaan nilai resistivitas diakibatkan oleh beberapa faktor, seperti homogenitas, kandungan mineral, permeabilitas, temperatur, dan geologi tanah [6]. Salah satu metode yang digunakan dalam pengukuran nilai resistivitas tanah adalah metode konfigurasi *Wenner* dalam bentuk *Soil Box*, seperti pada Gambar 2.5. [6].



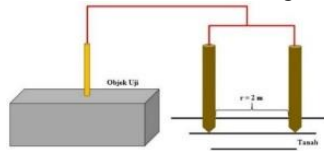
Gambar 2.5. Skematik Dasar Sistem Pengukuran Resistivitas Tanah dalam Bentuk *Soil Box*

Konsep dasar dalam sistem pengukuran resistivitas tanah yaitu dengan injeksi arus listrik ke dalam lapisan tanah yang mempunyai resistivitas tertentu sehingga menghasilkan potensial. Metode konfigurasi *Wenner* yang dapat digunakan dalam skala laboratorium adalah metode konfigurasi *Wenner* Alfa dengan menggunakan teknik pengukuran *four point probe*, yaitu dua *probe* elektroda injeksi arus dan dua *probe* elektroda potensial [6]. Keempat *probe* elektroda ini harus disusun dengan jarak yang sama sesuai dengan kebutuhan dalam penelitian. Proses pengukuran dilakukan dengan mengukur nilai beda potensial pada dua *probe* potensial. Data hasil pengukuran nilai potensial kemudian dikorelasikan dengan ilmu geologi sehingga mendapatkan nilai resistivitas untuk mengidentifikasi sifat fisis dari tanah, seperti persamaan (2.5.).

$$R = \rho \frac{L}{A} \tag{2.5.}$$

**2.4. Metode Grounding Sistem**

Grounding *system* dilakukan untuk meminimalkan muatan listrik yang masih tersimpan di dalam objek uji sehingga meningkatkan sensitivitas pengukuran. Berdasarkan penelitian metode yang paling optimal untuk *grounding* sistem dengan menggunakan metode paralel *grounding* dengan jarak kedua *probe* elektroda 2 meter, seperti Gambar 2.6. dengan persamaan (2.6.). Nilai ideal resistansi grounding sistem dengan *range* 0 – 5 Ω.

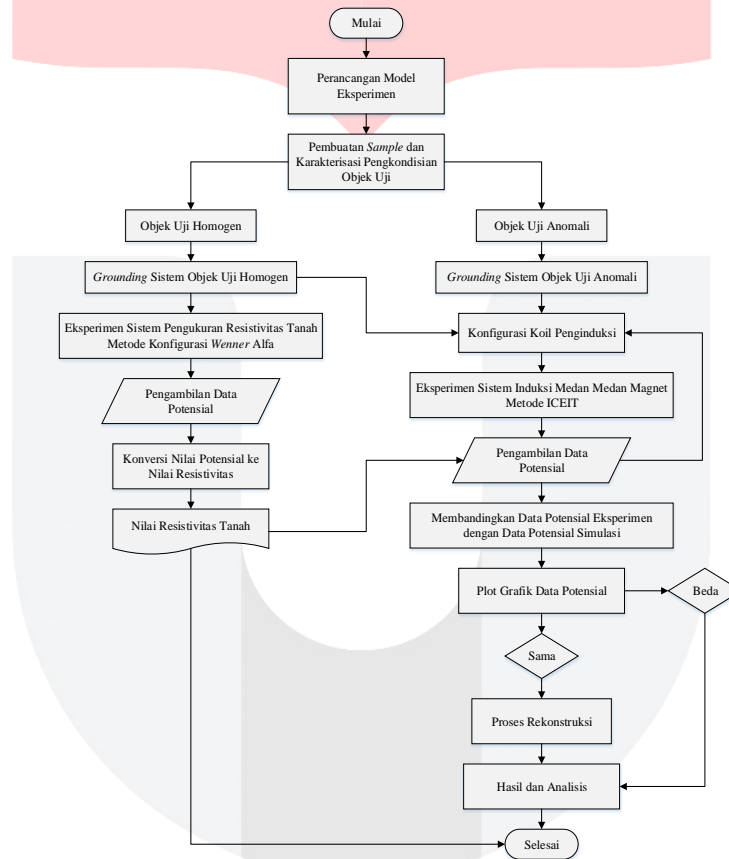


Gambar 2.6. Metode Paralel *Grounding*

$$R = \frac{\rho}{2\pi r} \tag{2.6.}$$

**3. Pembahasan**

Berikut ini diagram alir yang menggambarkan eksperimen pengujian sistem induksi medan magnet metode ICEIT.



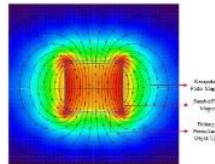
**3.1. Simulasi Sistem Induksi Medan Magnet dengan Software Vizimag 3.18.**

Vizimag 3.18. merupakan salah satu *software* simulasi yang dapat menggambarkan adanya induksi medan magnet secara visual. Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui kerapatan fluks magnet yang menembus luas permukaan objek uji. Kerapatan fluks magnet dan kuat medan magnet yang muncul pada *software* ini menandakan adanya induksi medan magnet yang terjadi. Pada Tabel 3.1. menunjukkan parameter fisis induksi medan magnet pada *software* Vizimag 3.18.

Tabel 3.1. Parameter Fisis Sistem Induksi Medan Magnet pada *Software* Vizimag 3.18.

Variabel Parameter Fisis	Nilai	
	Sumber Fluks Magnet	Luas Permukaan Terinduksi
Permeabilitas Magnet ( $\mu$ )	1,10,100,1000 Wb/Am	$\leq 1$ Wb/Am
Indeks Angka	1,10,100	-
Amplitudo Arus Listrik	0,1,10 Amps	-

Hasil simulasi sistem induksi medan magnet dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Hasil Simulasi Sistem Induksi Medan Magnet dengan *Software Vizimag 3.18*.

Pada Gambar 3.1. parameter fisis sistem induksi medan magnet terdiri dari permeabilitas magnet  $\mu = 1 \text{ Wb/Am}$ , indeks angka 1, arus listrik 1 *Amps*, dan luas permukaan objek uji terinduksi dengan permeabilitas magnet  $\leq 1 \text{ Wb/Am}$ . Berdasarkan simulasi dapat dilihat bahwa adanya fluks magnet yang menembus luas permukaan objek uji. Hal ini ditandai dengan garis-garis gaya magnet. Sedangkan kuat medan magnet ditandai dengan warna-warna yang terjadi. Warna merah menandakan kuat medan magnet paling besar sedangkan warna biru tua menandakan kuat medan magnet yang paling kecil.

### 3.2. Pengkondisian Objek Uji

Pengkondisian objek uji dilakukan untuk meminimalkan nilai resistivitas tanah dengan karakteristik tertentu. Sistem pengukuran resistivitas tanah metode konfigurasi *Wenner Alfa* dalam bentuk *Soil Box* digunakan untuk mengukur nilai potensial tanah. Nilai potensial tanah inilah yang mencerminkan nilai resistivitas tanah. Karakterisasi pengkondisian tanah dilakukan untuk mendapatkan perbandingan data resistivitas tanah pada setiap kondisi. Data resistivitas tanah yang paling kecil digunakan sebagai karakteristik pengkondisian objek uji dalam penelitian. Berdasarkan data resistivitas hasil eksperimen pengujian karakterisasi tanah maka karakteristik tanah garam diperoleh data resistivitas paling kecil, seperti pada Tabel 3.2. Karakterisasi pengkondisian objek uji ini dianggap homogen.

Tabel 3.2. Data Hasil Pengukuran Resistivitas Tanah Garam Metode Konfigurasi *Wenner Alfa*

Karakterisasi Pengkondisian Tanah	Temperatur Ruang ( $^{\circ}\text{C}$ )	Frekuensi $f$ (KHz)	Arus Listrik $I$ (mApp)	Resistansi $\rho$ ( $\Omega\text{mpp}$ )
Tanah Garam	30	1	3,7	0,08
		10		0,07
		100		0,05

Pada karakterisasi pengkondisian objek uji yang dianggap anomali dengan menyisipkan balok kayu di tengah objek uji kondisi homogen. Pemberian balok kayu agar dapat membedakan nilai resistivitas objek uji pada kondisi homogen dan anomali. Objek uji kondisi anomali juga dilakukan karakterisasi. Karakterisasi pengkondisian balok kayu dilakukan dengan cara yang sama seperti karakterisasi pengkondisian tanah. Berdasarkan data resistivitas hasil eksperimen pengujian karakterisasi kayu maka karakteristik kayu garam diperoleh data resistivitas paling kecil, seperti pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Data Hasil Pengukuran Resistivitas Tanah Garam Metode Konfigurasi *Wenner Alfa*

Karakterisasi Pengkondisian Kayu	Temperatur Ruang ( $^{\circ}\text{C}$ )	Frekuensi $f$ (KHz)	Arus Listrik $I$ (mApp)	Resistansi $\rho$ ( $\Omega\text{mpp}$ )
Kayu Garam	30	1	3,7	0,000018
		10		0,0000068
		100		0,00002

Pada eksperimen dan pengujian sistem pengukuran resistivitas digunakan temperatur ruang  $T_{\text{ruang}} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dengan menggunakan temperatur ruang yang lebih tinggi maka resistivitas akan lebih rendah. Namun hal ini dapat mempercepat proses korosifitas objek uji. Oleh karena itu objek uji tidak dapat digunakan dalam waktu yang relatif lama. Berdasarkan data hasil eksperimen pengujian pengkondisian objek uji maka karakteristik garam paling efektif untuk digunakan sebagai objek uji.

### 3.3. Sistem Induksi Medan Magnet Metode ICEIT

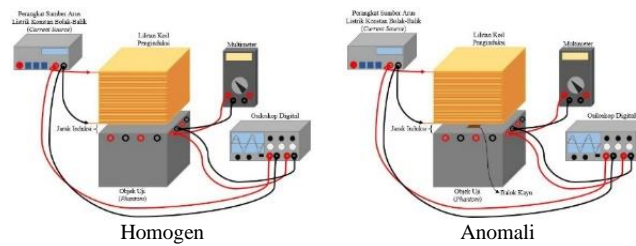
Dalam perancangan model sistem induksi medan magnet metode ICEIT penentuan parameter fisis terdiri dari parameter fisis sumber arus listrik, parameter fisis sistem induksi medan magnet, dan parameter fisis objek uji. Pada Tabel 3.4. menunjukkan parameter fisis sistem induksi medan magnet yang digunakan dalam penelitian.

Tabel 3.4. Parameter Fisis Sistem Induksi Medan Magnet Metode ICEIT

Parameter Fisis Perangkat Sumber Arus Listrik	Ukuran
Frekuensi Stimulus/Eksitasi	1 KHz, 10 KHz, 100 KHz
Amplitudo Sumber Arus Listrik Stimulus/Eksitasi	3,7 mApp
Parameter Fisis Sistem Induksi Medan Magnet	Ukuran
Diameter Lilitan Koil Penginduksi	0,5 mm
Jumlah Lilitan Koil Penginduksi	300 dan 600 lilitan
Jarak Lilitan Koil Penginduksi ke Objek Uji	1 cm
Dimensi Lilitan Koil Penginduksi	12 x 12 cm
Pola Konfigurasi Lilitan Koil Penginduksi	1,2,3,4,5,6,7,8,9
Parameter Fisis Objek Uji	Ukuran
Dimensi Objek Uji	12 x 12 cm
Dimensi Balok Kayu	2 x 2 cm
Jumlah <i>Probe</i> Elektroda Potensial	16 titik

Penentuan parameter fisis sistem induksi medan magnet berdasarkan pada simulasi, spesifikasi alat/perangkat dan komposisi bahan, dan hipotesis penelitian sebelumnya.

Perancangan model sistem induksi medan magnet metode ICEIT skala laboratorium seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.2. Perancangan Model Sistem Induksi Medan Magnet Metode ICEIT

Sistem induksi medan magnet metode ICEIT yang digunakan dalam penelitian didasarkan pada bahan non-feromagnetik. Mengingat bahwa metode EIT yang relatif aman maka tidak digunakan bahan magnet yang relatif besar. Dengan bahan non-feromagnetik diharapkan sistem induksi medan magnet lebih aman dari radiasi elektromagnetik berbahaya. Oleh karena itu lilitan coil penginduksi tidak menggunakan inti bahan magnet. Maka data hasil pengukuran potensial *boundary* relatif kecil. Maka penentuan karakterisasi pengkondisian objek uji sangat penting untuk mengatasi kekurangan ini.

Parameter fisis sumber arus listrik menyesuaikan dengan perangkat sumber arus listrik yang tersedia di laboratorium. Sedangkan parameter fisis sistem induksi medan magnet menggunakan perbandingan jumlah lilitan coil penginduksi 1:2. Pada Tabel 3.5. menunjukkan perbandingan nilai induktansi lilitan coil penginduksi berdasarkan hasil pengukuran induktansi dengan tingkat *quality factor* (Q) sebesar 1,73.

Tabel 3.5. Perbandingan Nilai Induktansi Lilitan Coil Penginduksi

Frekuensi eksitasi (KHz)	L (mH)	
	N = 300	N = 600
1	2,24	4,43
10	0,208	0,48
100	0,023	0,046

Berdasarkan Tabel 3.5. menunjukkan linearitas data. Dengan jumlah lilitan coil penginduksi yang lebih besar maka induktansi lilitan coil semakin besar. Pola konfigurasi lilitan coil penginduksi dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6. Pola Posisi Konfigurasi Coil Penginduksi terhadap Objek Uji



Dengan menggunakan 9 konfigurasi coil penginduksi diharapkan data potensial *boundary* hasil pengukuran semakin banyak. Hal ini dapat digunakan untuk mengatasi persoalan *ill-posed* untuk proses rekonstruksi citra tomografi. Namun posisi pergeseran konfigurasi coil penginduksi dapat menimbulkan perosalan objek uji bersifat resistif. Oleh karena itu sebelum melakukan eksperimen pengujian sistem induksi medan magnet harus dilakukan *grounding* sistem pada setiap konfigurasi coil. Hal ini untuk menghindari adanya muatan listrik yang masih tersimpan dalam objek uji sehingga meminimalkan sensitivitas pengukuran. Proses *grounding* sistem dilakukan dengan pengkondisian objek uji homogen dan anomali dengan metode paralel *grounding*. Pada Tabel 3.7. menunjukkan data hasil pengukuran *grounding* sistem yang dilakukan dalam penelitian.

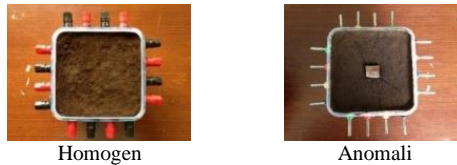
Tabel 3.7. Data Hasil Pengukuran *Grounding* Sistem Metode Paralel *Grounding*

Pengkondisian Objek Uji	Potensial rata-rata (mV)	Resistansi rata-rata ( $\Omega$ )
Homogen	0,012	0,737
Anomali	0,0187	1,0125

Berdasarkan Tabel 3.7. nilai resistansi *grounding* sistem telah mencapai nilai ideal yaitu  $\leq 5 \Omega$ .

Sistem induksi medan magnet dilakukan dengan injeksi arus listrik konstan pada lilitan coil penginduksi sehingga terjadi induksi medan magnet. Akibat induksi medan magnet diharapkan muncul arus induksi pada permukaan objek uji. Arus induksi terjadi tanpa kontak langsung dengan arus injeksi pada lilitan coil penginduksi maka persoalan fungsi ganda probe elektroda dan sensitivitas terhadap perubahan distribusi resistivitas pada metode ACEIT dapat diatasi [2]. Dengan adanya distribusi resistivitas maka arus injeksi pada permukaan objek uji akan menghasilkan nilai potensial *boundary* pada 16 titik *probe* elektroda potensial bidang batas tepi objek uji.

Dengan penggabungan 9 konfigurasi coil penginduksi maka data potensial *boundary* hasil pengukuran diperoleh 144 data. Bentuk lilitan coil penginduksi dan objek uji rektanguler dapat menghasilkan pola distribusi potensial yang berbeda. Pada Gambar 3.2. menunjukkan penampang pengkondisian objek uji.



Gambar 3.2. Penampang Pengkondisian Objek Uji

Pola pengukuran data potensial *boundary* pada bidang batas tepi objek uji dilakukan berlawanan arah jarum jam. Pada Tabel 3.8. menunjukkan urutan pengukuran potensial *boundary* sistem induksi medan magnet metode ICEIT.

Tabel 3.8. Urutan Pengukuran Data Potensial *Boundary*

Posisi Konfigurasi Koil Penginduksi	Urutan Titik <i>Probe</i> Elektroda Potensial	Data ke-
1	1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-9, 9-10, 10-11, 11-12, 12-13, 13-14, 14-15, 15-16, 16-1	1-16
2		17-32
3		33-48
4		49-64
5		65-80
6		81-96
7		97-112
8		113-128
9		129-144

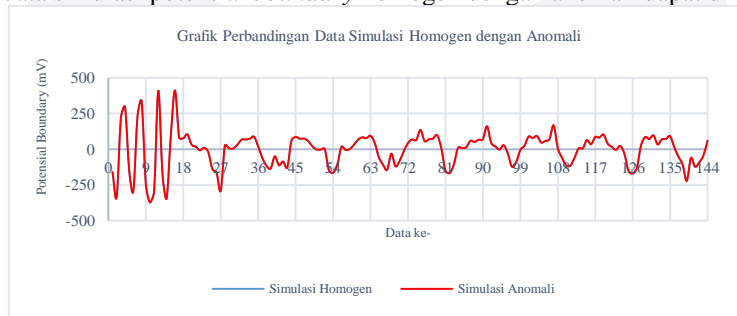
Validasi data potensial *boundary* hasil pengukuran dilakukan dengan perbandingan data hasil simulasi. Data hasil simulasi yang dijadikan sebagai acuan perbandingan diperoleh berdasarkan referensi [7]. Berikut perbandingan data potensial *boundary* hasil simulasi dengan hasil pengukuran. Tingkat akurasi (*error*) data dapat dilakukan dengan perhitungan seperti pada persamaan (3.1.)

$$Z_{Normalisasi} = \frac{Z - Z_{Min}}{Z_{Max} - Z_{Min}}$$

$$Error = \frac{Data\ Simulasi - Data\ Pengukuran}{Data\ Pengukuran} \tag{3.1.}$$

3.3.1. Perbandingan Data Simulasi Potensial *Boundary* Homogen dengan Anomali

Perbandingan data simulasi potensial *boundary* homogen dengan anomali dapat dilihat pada Gambar 3.3.



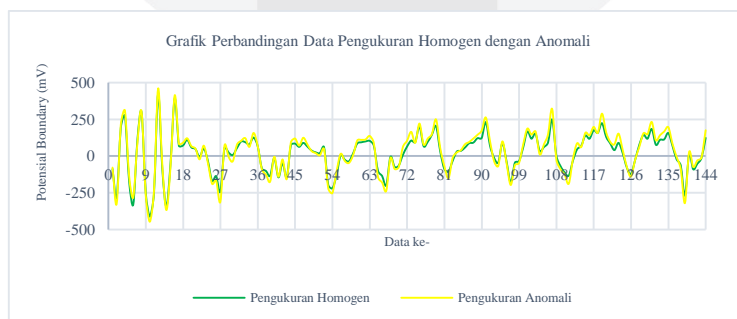
Gambar 3.3. Grafik Perbandingan Data Simulasi Homogen dengan Anomali

Pada Gambar 3.3. dapat dilihat bahwa grafik perbandingan data simulasi homogen dengan anomali memiliki pola yang sama dan sangat berhimpit. Data simulasi inilah yang dijadikan sebagai data acuan untuk proses rekonstruksi citra tomografi. Sehingga data pengukuran diharapkan sama seperti data simulasi.

3.3.2. Perbandingan Data Pengukuran Potensial *Boundary* Homogen dengan Anomali

Perbandingan data pengukuran potensial *boundary* homogen dengan anomali dapat dilihat pada Gambar

3.4.

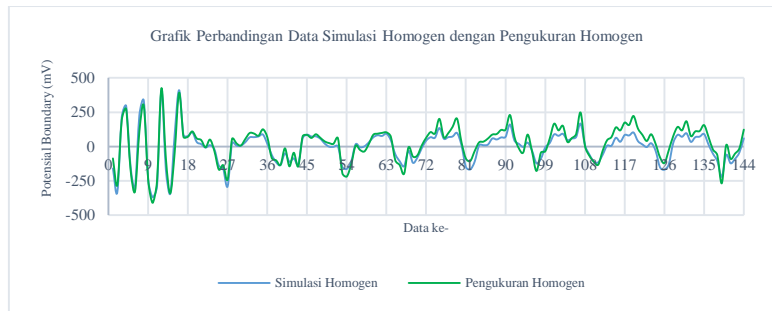


Gambar 3.4. Grafik Perbandingan Data Pengukuran Homogen dengan Anomali

Pada Gambar 3.4. dapat dilihat bahwa grafik perbandingan data pengukuran homogen dengan anomali memiliki pola yang sama tetapi tidak berhimpit. Hal ini dapat disebabkan oleh sensitivitas alat ukur multimeter dan proses pengukuran yang masih manual. Parameter fisis sistem induksi medan magnet metode ICEIT terdiri atas frekuensi  $f = 10\text{ KHz}$ , arus listrik  $I_0 = 3,7\text{ mA}_{pp}$ , dan jumlah lilitan koil penginduksi  $N = 600$  lilitan.

### 3.3.3. Perbandingan Data Simulasi dengan Data Pengukuran Potensial *Boundary* Homogen

Perbandingan data simulasi dengan data pengukuran potensial *boundary* homogen dapat dilihat pada Gambar 3.5.

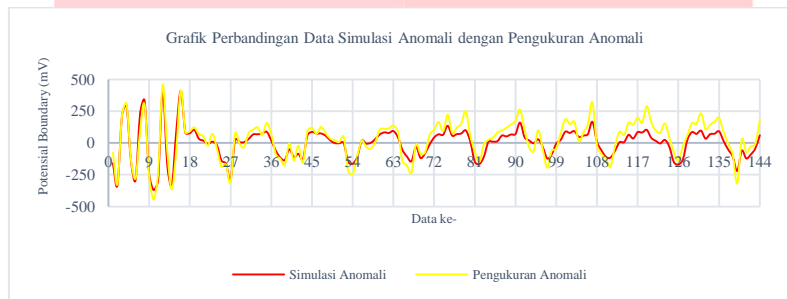


Gambar 3.5. Grafik Perbandingan Data Simulasi dengan Data Pengukuran Homogen

Pada Gambar 3.5. dapat dilihat bahwa grafik perbandingan data simulasi dengan data pengukuran homogen memiliki pola yang sama tetapi tidak berhimpit. Hal ini dapat disebabkan oleh sensitivitas alat ukur multimeter dan proses pengukuran yang masih manual. Sehingga diperoleh tingkat akurasi (*error*) data 3,61 %.

### 3.3.4. Perbandingan Data Simulasi dengan Data Pengukuran Potensial *Boundary* Anomali

Perbandingan data simulasi dengan data pengukuran potensial *boundary* anomali dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Grafik Perbandingan Data Simulasi dengan Data Pengukuran Anomali

Pada Gambar 3.6. dapat dilihat bahwa grafik perbandingan data simulasi dengan data pengukuran homogen memiliki pola yang sama tetapi tidak berhimpit. Hal ini dapat disebabkan oleh sensitivitas alat ukur multimeter dan proses pengukuran yang masih manual. Sehingga diperoleh tingkat akurasi (*error*) data 4,41 %.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen pengujian dan analisis yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

Data potensial *boundary* hasil pengukuran dinyatakan valid. Hal ini berdasarkan pada hasil plot grafik data simulasi dengan data pengukuran diperoleh pola grafik yang sama. Parameter fisis sistem induksi medan magnet metode ICEIT yang paling optimal terdiri atas: frekuensi  $f = 10 \text{ KHz}$ , sumber arus listrik  $I_0 = 3,7 \text{ mA}_{pp}$ , dan jumlah lilitan koil penginduksi  $N = 600$  lilitan. Tingkat akurasi (*error*) data pada objek uji homogen adalah 3,61 % dan anomali adalah 4,41 %. Sehingga data pengukuran potensial *boundary* hasil eksperimen dapat dilakukan rekonstruksi citra tomografi untuk proses identifikasi terhadap kondisi objek uji.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lazarovitch, R., Rittel, D., Bucher, I. (2001). *Experimental Crack Identification using Electrical Impedance Tomography*: Israel Institute of Technology, Haifa, Israel.
- [2] Gencer, N. G., Ider, Y. Z. (1996). *Electrical Impedance Tomography; Induced Current Imaging Achieved with a Multiple Coil System: IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Volume: 43, No. 2.
- [3] Darmawan, Dudi. (2010). *Bertanya Fisika Seri Listrik Magnet*. Bandung: Maju Jaya.
- [4] Gursoy, D., Mamatjan, Y., Adler, A., Scharfetter, H. (2012). *Enhancing Impedance Imaging through Multi-Modal Tomography: IEEE Transactions on Medical Engineering*, Volume: 58, Issue 11.
- [5] Darmawan, Dudi. (2015). *Pengembangan Metoda Identifikasi Distribusi Resistivitas Objek Rektanguler dengan Tomografi Injeksi Arus Listrik dan Induksi Medan Magnet*; Disertasi Program Studi Doktor Teknik Fisika, Institut Teknologi Bandung.
- [6] Irianto, E. A. (2014). *Rancang Bangun Resistivity Meter Digital dengan Metode Four Point Probe untuk Menentukan Hambatan Jenis Tanah*: Jurnal Fisika, Volume 03, Nomor 02, Tahun 2014. Hal. 96-99.
- [7] Darmawan, D., Kurniadi, D., Suyatman, Sudirham, J. (2015). *Reconstruction of Electrical Impedance Tomographic Image by Using Current Injection and Magnetic Field Induction* (Proses untuk disubmit).