

# STUDI KARAKTERISASI SISTEM *INDUCED CURRENT ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY* (ICEIT) PADA DISTRIBUSI SERBUK BESI DALAM TANAH

## *CHARACTERIZATION STUDY OF INDUCED CURRENT ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY (ICEIT) ON IRON POWDER DISTRIBUTION IN SOIL*

Anastasya Lutmila Balqis Amir<sup>1</sup>, Dudi Darmawan<sup>2</sup>, Edy Wibowo<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>anastasyalutmila@gmail.com, <sup>2</sup>dudidw@gmail.com, <sup>3</sup>edyw.phys@gmail.com

### Abstrak

Proses identifikasi dan pencitraan yang tidak merusak diperlukan pada berbagai industri. Metode untuk mengidentifikasi bagian dalam objek tanpa melakukan pembelahan adalah tomografi. Salah satu jenis tomografi adalah *Induced Current Electrical Impedance Tomography* (ICEIT). Pada prinsipnya sistem ICEIT memanfaatkan induksi arus bolak balik dengan frekuensi tertentu pada sebuah kumparan (koil) kemudian membangkitkan medan magnet di sekitar kumparan. Medan magnet akan berinteraksi dengan objek kemudian interaksi tersebut dapat diamati dengan mengukur beda tegangan di ujung batas tepi objek. Pada penelitian ini dibuat sistem ICEIT yang terdiri dari rangkaian koil dan phantom (wadah objek). Rangkaian koil terdiri dari 9 buah lilitan kawat tembaga dengan inti kayu berbentuk balok. Diperlukan parameter-parameter fisis yang optimal pada rangkaian koil agar *feasible* untuk melakukan identifikasi objek. Hasil eksperimen yang dilakukan, sistem ICEIT mampu menghasilkan pola distribusi nilai beda tegangan yang berbeda pada objek dengan 2 kondisi yaitu saat objek homogen (tanah laterit) dan objek beranomali (tanah laterit dan serbuk besi). Seluruh data beda tegangan pada pasangan elektroda dikoleksi menggunakan sistem akuisisi otomatis dengan jeda waktu antar induksi adalah 500 ms. Parameter-parameter fisis yang paling optimal pada rangkaian koil sistem ICEIT untuk melakukan identifikasi adalah frekuensi sumber  $f = 10$  MHz, amplitudo 20 Vpp, *range* induktansi koil 205.4  $\mu$ H – 221  $\mu$ H, dan medan magnet koil 7.1 G – 16.5 G.

**Kata kunci :** anomali, beda tegangan, homogen, identifikasi, parameter fisis, sistem ICEIT

### Abstract

The process of identification and non-destructive imaging is needed in various industries. The method for identifying the inside of an object without doing division is tomography. One type of tomography is *Induced Current Electrical Impedance Tomography* (ICEIT). In principle, the ICEIT system utilizes alternating current induction with a certain frequency on a coil (coil) then generates a magnetic field around the coil. The magnetic field will interact with the object then the interaction can be observed by measuring the voltage difference at the edge of the object's edge. In this study an ICEIT system was made consisting of a series of coils and phantoms (object containers). The coil circuit consists of 9 pieces of coil with a beam-shaped wooden core. Optimal physical parameters are needed in the coil circuit so that it is feasible to identify objects. The results of the experiments carried out, the ICEIT system was able to produce different pattern of distribution of different voltage in objects with 2 conditions, namely when the object is homogeneous (laterite soil) and anomalous object (laterite soil and iron powder). All voltage difference data on the electrode pair are collected using an automatic acquisition system with a time interval between inductions of 500 ms. The most optimal physical parameters in ICEIT system coil to identify are source frequency  $f = 10$  MHz, amplitude of 20 Vpp, range of coil inductance  $L = 205.4 \mu\text{H} - 221 \mu\text{H}$ , and magnetic field of coil  $B = 7.1 \text{ G} - 16.5 \text{ G}$ .

**Keywords: anomaly, homogeneity, identification, ICEIT system, physical parameters, voltage difference**

---

## 1. Pendahuluan

Menurut survei Geologi Amerika Serikat (USGS) Indonesia masuk ke dalam 10 negara dengan kepemilikan bahan tambang terbesar di dunia tepatnya peringkat ke-6 [1]. Bahan-bahan tambang yang beraneka ragam tersebar di seluruh Indonesia mulai dari Sabang sampai Merauke. Struktur geologi yang kompleks menjadikan Indonesia kaya akan sumber daya energi dan mineral, yang salah satunya adalah mineral besi. Secara geologis cebakan besi di Indonesia terdiri atas empat jenis endapan, antara lain pasir besi, besi laterit atau bijih besi, besi primer dan besi sedimen [2]. Untuk mengidentifikasi kandungan geologi di dalam tanah diperlukan metode identifikasi yang bersifat *non-invasive* atau tidak merusak. Metode yang dapat digunakan untuk mendapatkan gambaran atau pemetaan bagian dalam objek uji tanpa pengambilan sampel adalah tomografi.

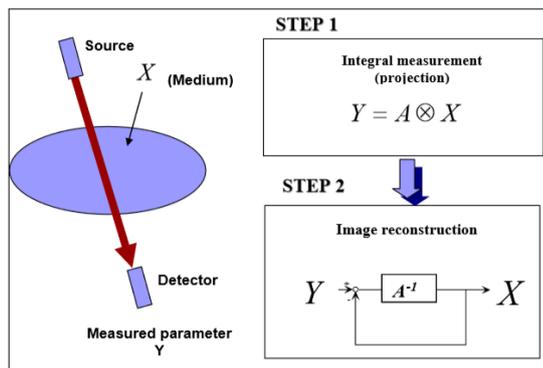
Salah satu jenis tomografi adalah *Electric Impedance Tomography* (EIT) yang menerapkan injeksi arus listrik konstan pada bidang batas tepi objek uji kemudian diukur beda tegangan objek dengan menggunakan media elektroda yang dipasang. Yang menjadi permasalahan EIT adalah kurang sensitif terhadap perubahan distribusi resistivitas di tengah objek uji sehingga diperlukan energi eksitasi dari induksi medan magnet. Induksi medan magnet dalam metode EIT dikenal dengan metode *Induced Current Electrical Impedance Tomography* (ICEIT). Penggunaan metode ICEIT diharapkan energi eksitasi dihasilkan dari induksi medan magnet dapat menjangkau permukaan objek uji yang jauh dari bidang batas sehingga dapat mengatasi persoalan kekurangan data atau *ill-posed* pada injeksi arus listrik dalam metode EIT yang dikenal dengan metode ACEIT [4]. Sebelumnya juga sistem ICEIT telah dikarakterisasi pada objek tanah beranomali balok kayu yang hasil yang didapatkan parameter yang optimal dalam sistem ICEIT tersebut.

Pada penelitian ini akan dilakukan karakterisasi sistem ICEIT pada objek homogen berupa tanah laterit dengan anomali serbuk besi, kemudian ditentukan nilai parameter fisis yang optimal untuk sistem ICEIT yang mengidentifikasi serbuk besi dalam tanah. Parameter didapatkan dengan cara eksperimen variasi frekuensi dan amplitudo pada sumber arus yang diinduksikan melalui 9 koil sebagai transmitter kemudian diterima oleh 16 elektroda yang berada di sekitar objek sebagai receiver yang menghasilkan tegangan. Beda tegangan pada elektroda yang bersebelahan akan diukur dengan sistem akuisisi data otomatis. Jika terdapat beda tegangan maka dapat dilanjutkan ke pengambilan data sistem ICEIT. Namun sebelum itu akan dilakukan kembali beberapa kali eksperimen pada sumber arus induksi dengan variasi frekuensi dan amplitudo yang bertujuan untuk mendapatkan parameter fisis paling optimal. Setelah itu pengambilan data sistem ICEIT dengan mengimplementasikan parameter fisis yang telah diperoleh terhadap objek homogen beranomali. Kemudian dilakukan plot data beda tegangan dan diamati pola distribusinya. Pada tomografi data hasil akuisisi yang berfungsi sebagai informasi untuk pencitraan, kemudian diolah menggunakan perangkat lunak Matlab hingga menjadi citra objek. Penelitian ini hanya sampai ke step pertama pada metode tomografi yaitu pengambilan data proyeksi dalam skala lab dan tidak dilakukan pencitraan. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi referensi dalam mengembangkan sistem ICEIT yang lebih optimal sehingga dapat digunakan untuk membantu identifikasi anomali pada objek homogen.

## 2. Tinjauan Pustaka dan Metodologi

### 2.1 Tomografi

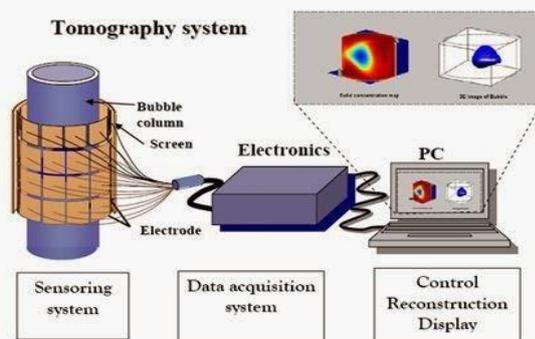
Kata tomografi berasal dari kata Yunani 'tomos' (penampang yang dibelah), yaitu teknologi yang digunakan untuk melihat penampang dalam melakukan 'pembelahan' sebuah obyek tanpa harus membelah obyek yang bersangkutan [5]. Metode tomografi Teknik bisa dibagi menjadi dua step yaitu proses pengambilan data proyeksi melalui sensor yang dipasang di sekeliling obyek dan proses rekonstruksi untuk mendapatkan citra dalam obyek dari data proyeksi tersebut. Proses pengambilan data proyeksi adalah sebuah problem maju (*forward problem*), yang pada dasarnya merupakan pengukuran dari sebuah parameter fisika dari gelombang yang dipancarkan dari sensor transmitter dan berinteraksi dengan media dan diukur oleh sensor detector. Besaran fisika terukur merupakan hasil konvolusi antara kekuatan medan (*field strength*) dan distribusi sifat fisika (*property distribution*) [5].



Gambar 1 Prinsip tomografi [5]

Sistem tomografi bisa dibagi menjadi tiga bagian seperti pada gambar 2.1 yaitu

1. Sistem sensor yang mengelilingi obyek
2. Rangkaian listrik untuk melakukan akuisisi data proyeksi
3. Sistem Komputer untuk melakukan kontrol, proses rekonstruksi dan penampilan hasil.

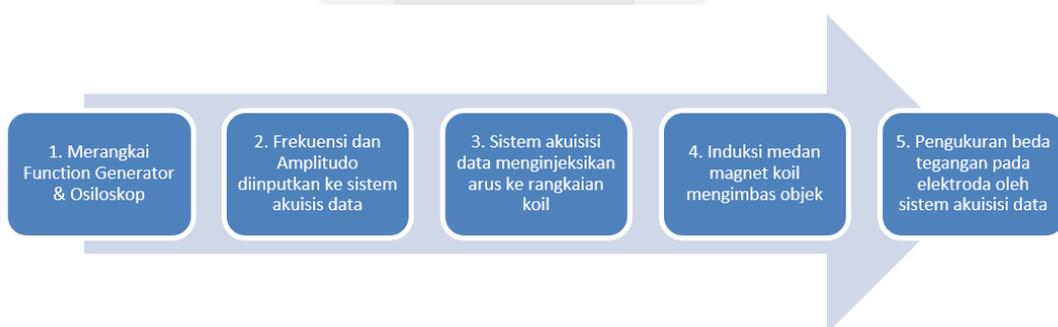


Gambar 2 Sistem tomografi [5]

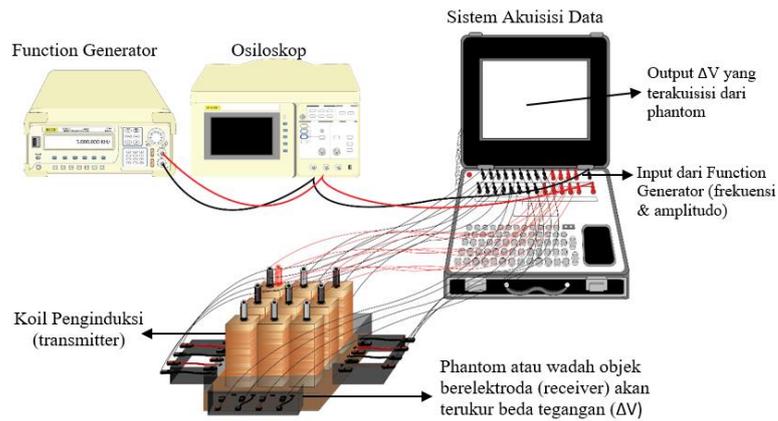
Pada penelitian ini sistem tomografi hanya sampai akuisisi data dan kontrol pada komputer tapi tidak sampai ke proses rekonstruksi.

### 2.2 ICEIT

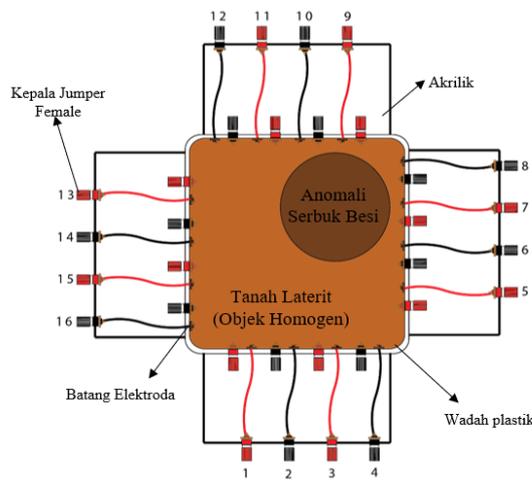
Metode *Electrical Impedance Tomography* (EIT) sebagai salah satu metode tomografi menggunakan arus bolak – balik yang diinduksikan pada koil untuk mengetahui keadaan di dalam sebuah obyek dengan mengukur tegangan listrik pada permukaan obyek yang diteliti. Pada prinsipnya sama dengan *Eddy Current* yaitu induksi arus bolak balik dengan frekuensi tertentu pada sebuah kumparan (koil) lalu membangkitkan medan magnet di sekitar kumparan [7]. Metode ICEIT akan merekonstruksikan distribusi konduktivitas internal obyek. Konduktivitas didapatkan melalui data pengukuran potensial atau tegangan.



Gambar 3 Skema umum eksperimen sistem ICEIT



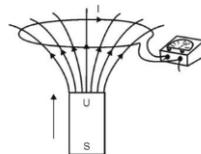
Gambar 4 Ilustrasi eksperimen sistem ICEIT



Gambar 5 Penampang phantom

### 2.3 Hukum Faraday

Arus induksi adalah arus yang terjadi akibat induksi magnetik. Induksi magnetik pertama kali ditemukan oleh Michael Faraday (1791-1867) pada percobaannya. Percobaan tersebut menggunakan sebatang magnet dan seutas kawat yang dibentuk loop dan ujung – ujungnya dihubungkan dengan sebuah amperemeter seperti pada gambar



Gambar 6 Ilustrasi percobaan [8]

Ketika batang magnet dimasukan ke kawat berbentuk loop maka jarum pada amperemeter menyimpang dengan signifikan begitu pula saat batang magnet ditarik jarum tersebut kembali pada posisi semula. Hal ini menunjukkan bahwa pada kawat terjadi arus listrik. Faraday menyimpulkan bahwa terjadinya arus listrik pada kawat loop disebabkan terjadinya perubahan fluks, yaitu perubahan jumlah garis – garis gaya yang menembus luas penampang yang dibatasi oleh loop [8]. Seperti yang diketahui bahwa fluks adalah banyaknya garis gaya yang menembus suatu luas penampang yang dinyatakan dalam persamaan

$$\Phi = BA \tag{1}$$

keterangan:

$\Phi$  = fluks magnetik yang menembus luasan (Wb)

B = medan magnetik (T)

$A$  = luas penampang yang ditembus ( $m^2$ )

## 2.4 Fluks Magnetik

Fluks magnetik yang berubah-ubah di dalam loop kawat bersifat seperti sumber tegangan karena dapat menghasilkan arus listrik. Tegangan yang dihasilkan oleh induksi magnetik ini dikenal sebagai gaya gerak listrik induksi (ggl induksi). Menurut Faraday besarnya ggl induksi dapat dinyatakan dengan persamaan [1].

$$\varepsilon_{in} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (2)$$

Keterangan :

$\varepsilon_{in}$  = ggl induksi (V)

$N$  = banyaknya lilitan atau loop

$\Delta\Phi$  = perubahan fluks magnetik yang menembus luasan (Wb)

$\Delta t$  = selang waktu

Kawat loop yang diputar di dalam medan magnet dapat berupa sebuah kumparan. Jika sebuah kumparan dengan  $N$  buah lilitan yang diputar di dalam medan magnet yang kuat medannya ( $B$ ) dan kecepatan putarnya ( $\omega$ ), maka pada kumparan akan timbul ggl dan arus induksi yang besarnya dinyatakan dengan persamaan

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cos \omega t \quad (3)$$

$$I = I_0 \cos \omega t \quad (4)$$

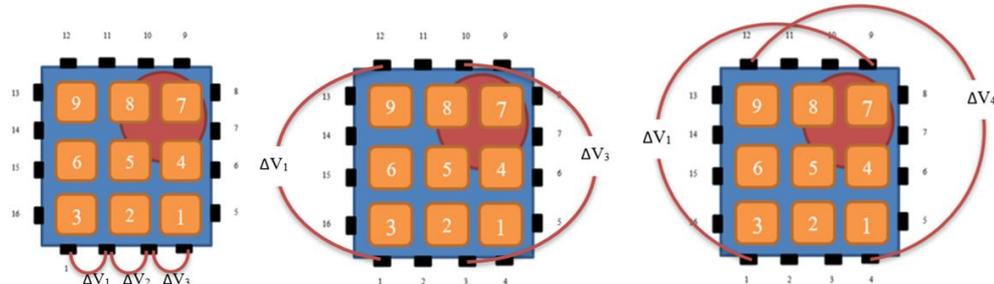
Dapat dibuktikan dengan menggunakan persamaan (2) bahwa amplitudo tegangan dapat dinyatakan dengan persamaan

$$\varepsilon = NAB \omega \quad (5)$$

Kecepatan putaran dapat dinyatakan dalam frekuensi osilasi  $f$  sebagai  $\omega = 2\pi f$ .

## 2.3 Metode pengukuran Tegangan

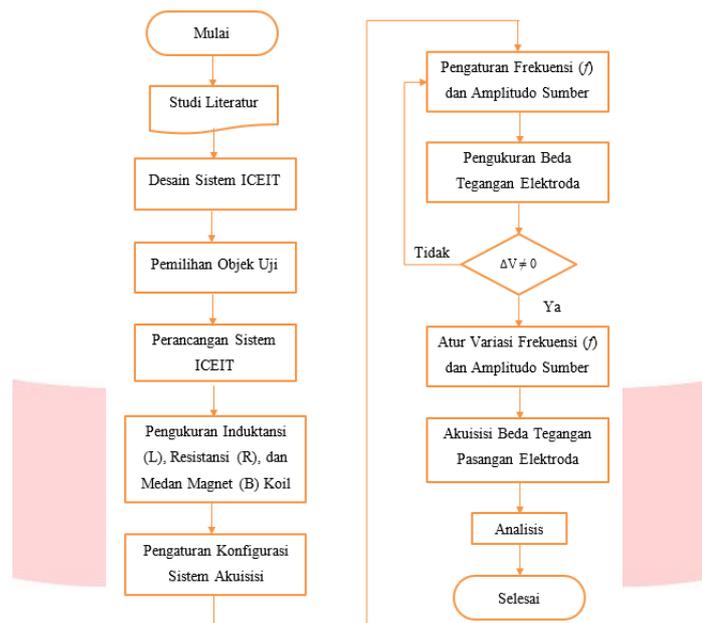
Pada *Electrical Impedance Tomography* (EIT) atau *Applied Current Electrical Impedance Tomography* (ACEIT) dilakukan injeksi arus listrik, sementara pada *Induced Current Electrical Impedance Tomography* (ICEIT) dilakukan induksi arus. Setelah proses tersebut, baik ACEIT maupun ICEIT data beda tegangan objeknya akan diukur melalui elektroda yang terpasang pada phantom atau wada objek. Metode dalam mengukur beda tegangan pada elektroda terdiri dari metode berpasangan (*adjacent method*), metode berlawanan (*opposite method*), dan metode bersilangan (*cross method*) [15].



Gambar 7 Metode pengukuran beda tegangan sistem ICEIT

## 2.4 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan sesuai dengan diagram alir penelitian seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.1. Seluruh eksperimen dalam penelitian dilakukan di Laboratorium Sistem Instrumentasi Universitas Telkom.



Gambar 8 Diagram Alir Penelitian

### 3. Pembahasan

#### 3.1. Karakterisasi Parameter Fisis Sistem ICEIT

##### 3.1.1 Parameter Fisis Koil Pada Sistem Induksi ICEIT

Proses karakterisasi parameter sistem induksi ICEIT pada penelitian ini dilakukan dengan beberapa eksperimen yang menggunakan variasi variable sesuai dengan parameter fisis yang ingin diketahui. Sistem induksi ICEIT yang dimaksud adalah rangkaian koil induksi. Rangkaian koil yang terdiri dari 9 buah, masing-masing koil terdiri dari 120 lilitan menggunakan kawat email tembaga ukuran 0.5 mm. Parameter fisis yang ingin diketahui adalah frekuensi ( $f$ ), amplitudo, induktansi ( $L$ ), medan magnet ( $B$ ), resistansi ( $R$ ). Ukuran yang sama persis setiap koil diharapkan dapat memiliki induktansi, resistansi dan medan magnet yang sama sehingga dapat menginduksi setiap segmen objek. Hasil pengukuran ditunjukkan oleh Tabel 3.1 dengan data demikian array koil yang dibuat memiliki keseragaman nilai parameter fisis meskipun ada perbedaan nilai antara satu koil dengan lainnya tetapi hanya dalam *range* orde 1. Berdasarkan hasil pengukuran, rentang induktansi koil yang digunakan sebagai perangkat sistem induksi ICEIT ini adalah medan magnet  $B = 8$  s.d.  $16.5$  G, induktansi  $L = 205$  s.d.  $221$   $\mu$ H, dan resistansi  $R = 0.93$  s.d.  $0.98$   $\Omega$

Tabel 1 Data Pengukuran Parameter Fisis Koil

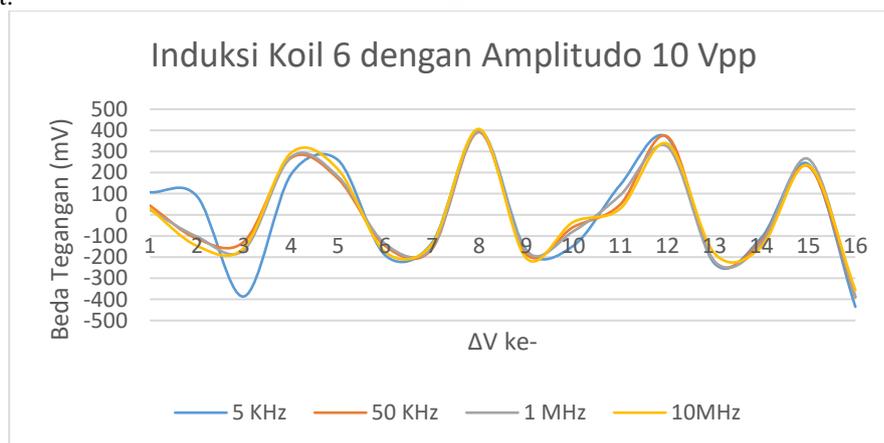
Koil	Induktansi ( $\mu$ H)					Resistansi (ohm)	Medan Magnet Koil (Gauss)
	100Hz	120Hz	1kHz	10kHz	100kHz		
1	212	212	212.1	212.1	211.5	0.94	9.7
2	215	214	217	216.7	215.8	0.95	8
3	221	220	221	221	220	0.98	16.5
4	207	207	208	208	207.5	0.96	10
5	220	217	219.4	219.6	218.7	0.97	7.1
6	205	205	206.4	206.4	205.4	0.93	9.3
7	210	210	210.9	210.7	210	0.95	8.8
8	205.4	205	206.2	206.5	205.5	0.94	9.1
9	214	213	213.9	214	213.2	0.98	8.3

Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan, nilai-nilai induktansi ( $L$ ), medan magnet ( $B$ ), resistansi ( $R$ ) setiap koil memiliki nilai perbedaan nilai dalam orde 1 dan dapat disimpulkan bahwa koil yang digunakan sebagai sistem induksi ICEIT merupakan koil yang identik.

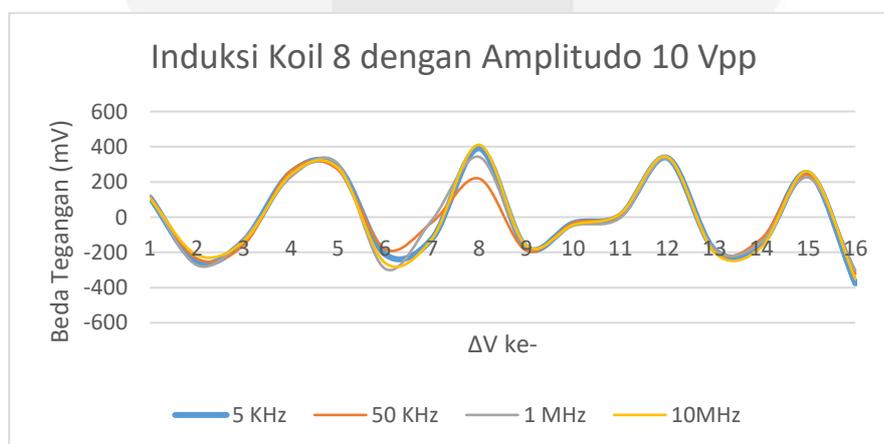
### 3.1.2 Parameter Fisis Sumber Arus Pada Sistem Induksi ICEIT

Setelah dilakukan eksperimen pada sistem ICEIT terhadap objek homogen menggunakan variasi frekuensi dan amplitudo yang telah ditentukan, didapatkan distribusi nilai beda tegangan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.4. Pada Gambar 4.4 tampak garis warna biru yang mewakili hasil induksi dengan frekuensi 5 KHz memiliki perbedaan pola distribusi nilai beda tegangan. Hasil induksi koil 6 menunjukkan nilai  $\Delta V$  ke-1 hasil induksi dengan frekuensi 5 KHz adalah 107 mV, kemudian berubah secara signifikan menjadi 44 mV saat frekuensi 50 KHz, 24 mV saat frekuensi 1 MHz dan menjadi 29 mV saat frekuensi 10 MHz. Kemudian  $\Delta V$  ke-3 pun menunjukkan bahwa hasil induksi dengan frekuensi 5 KHz adalah -386 mV, nilai tersebut jauh lebih besar dibandingkan hasil induksi dengan frekuensi lainnya. Apabila diamati kembali perubahan signifikan tersebut hanya terjadi pada hasil induksi koil 6 saja. Pada gambar 4.5 yang merupakan grafik distribusi beda tegangan hasil induksi koil 8 dengan variasi frekuensi 5 KHz, 50 KHz, 1 MHz, dan 10 MHz menunjukkan tidak terjadi lagi nilai beda tegangan yang signifikan ketika frekuensi 5 KHz. Grafik pada gambar 4.5 menunjukkan tren pola distribusi yang lebih jelas yaitu hasil induksi dengan frekuensi 10 MHz paling optimal dan stabil.

Untuk mendapatkan nilai amplitudo yang optimal dilakukan perbandingan hasil induksi koil dengan frekuensi 10 MHz. Pada hasil induksi koil 6  $\Delta V$  ke-1 adalah 29 mV saat amplitudo 10 Vpp sedangkan nilai  $\Delta V$  ke-1 nya adalah 58 mV. Kemudian  $\Delta V$  ke-10 nilainya adalah -34 mV saat amplitudo 10 Vpp sedangkan saat amplitudo 20 Vpp nilai  $\Delta V$  ke-10 nya adalah -73 mV. Nilai beda tegangan dengan amplitudo 20 Vpp pada seluruh hasil induksi 9 koil cenderung lebih besar dari pada hasil induksi dengan amplitudo 10 Vpp. Selisihnya berkisar orde 1 milivolt sampai orde 2 milivolt.



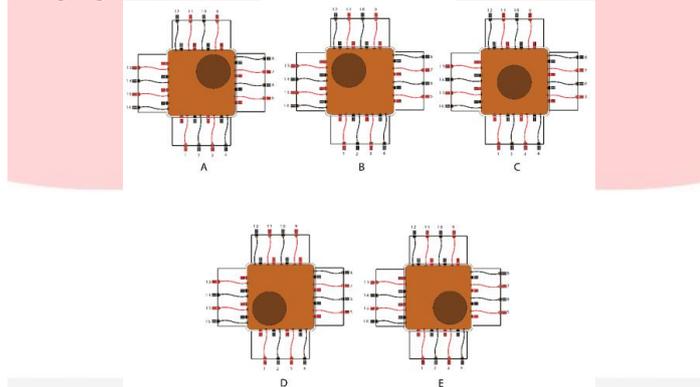
Gambar 9 Grafik plot distribusi nilai beda tegangan hasil induksi koil 6



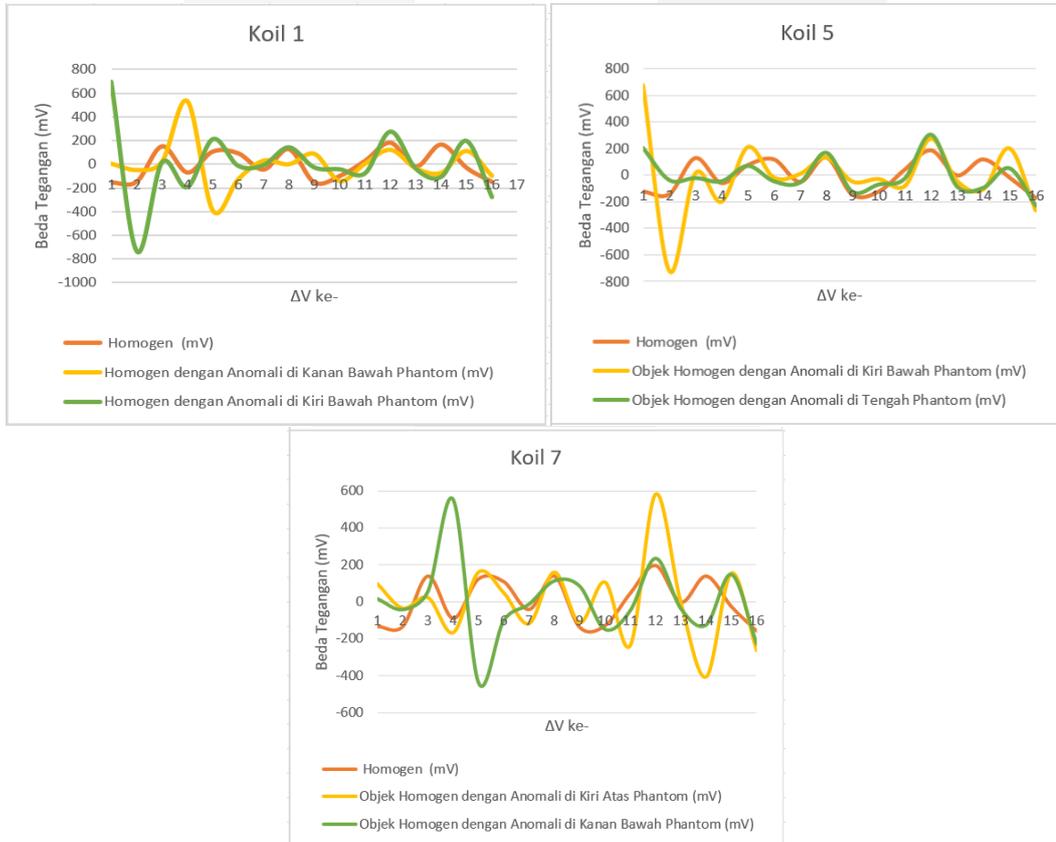
Gambar 10 Grafik plot distribusi nilai beda tegangan hasil induksi koil 6

### 3.2. Pengaruh Implementasi Parameter Fisis Sistem Induksi ICEIT dan Konfigurasi Sistem Akuisisi Pada Objek Homogen dan Beranomali

Hasil induksi koil 1 menunjukkan adanya perbedaan pola distribusi beda tegangan pada kondisi objek homogen, objek beranomali di kanan bawah phantom, dan objek beranomali di kiri bawah phantom. Pada perubahan pola distribusi yang ditunjukkan oleh gambar 4.9 dapat diamati bahwa dalam kondisi homogen, beda tegangan setiap pasangan elektroda cenderung sama dalam *range* -152mV sampai 181 mV. Ketika diberi anomali, pada beberapa pasangan elektroda terjadi perubahan yang signifikan. Misalnya, beda tegangan pasangan elektroda 4-5 atau  $\Delta V$  ke-4 saat homogen berubah dari -68 mV menjadi 533 mV pada kondisi anomali di bawah-kanan phantom. Kemudian, saat anomali dipindahkan ke kiri bawah phantom,  $\Delta V$  ke-4 menjadi -195 mV. Apabila diamati, pasangan elektroda 4-5 yang berada dekat dengan anomali bawah-kanan mengalami perubahan beda tegangan yang signifikan jika dibandingkan dengan hasil beda tegangan ketika posisinya dekat anomali bawah-kiri. Selanjutnya, pasangan elektroda 5-6 atau  $\Delta V$  ke-5 yang berdekatan juga dengan anomali bawah-kanan memiliki beda tegangan -391 mV. Pasangan elektroda tersebut saat objek homogen memiliki tegangan 107 mV dan saat anomali bawah kiri memiliki beda tegangan -195 mV.

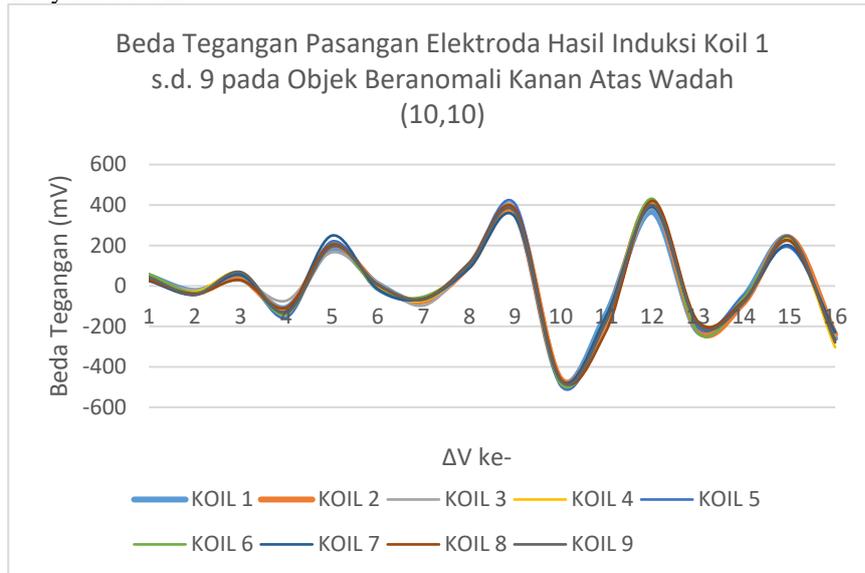


Gambar 3 Ilustrasi Variasi Posisi Anomali



Gambar 4 Perbandingan Pola Distribusi Beda Tegangan Objek Homogen dan Objek Beranomali

Menurut penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh [7] deteksi anomali menggunakan sistem ICEIT akan semakin baik apabila induksi dilakukan sedekat mungkin dengan posisi anomali dan semakin dekat koil induksi ke objek maka objek lebih terinduksi oleh distribusi medan magnet homogen. Jika merujuk pada penelitian tersebut seharusnya terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil induksi koil yang paling dekat dan koil terjauh dari objek. Hasil yang didapat dari eksperimen pada penelitian ini, nilai beda tegangan antara koil terdekat dengan objek (anomali) dan terjauh dari anomali menunjukkan hasil yang sama seperti yang ditunjukkan gambar 5. Keseragaman pola distribusi beda tegangan hasil induksi tiap koil kemungkinan terjadi karena keberadaan medan magnet koil lain yang sedang tidak menginduksi, mengingat jarak antar koil sangat dekat yaitu 0.5 cm.



#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan dengan Sistem ICEIT yang dibuat dan dianalisis, didapat kesimpulan bahwa hasil pengukuran beda tegangan paling optimal diperoleh 2 kesimpulan:

1. Parameter fisis yang *feasible* untuk sistem induksi ICEIT yang dibuat yaitu frekuensi  $f = 10$  MHz dan amplitudo = 20 Vpp. Rangkaian 9 buah koil sebagai sistem induksi mampu menginduksi dengan *range* medan magnet  $B = 8$  s.d. 16.5 G dan induktansi  $L = 205$  s.d. 221  $\mu$ H
2. Implementasi dari parameter fisis yang *feasible* didapat pola distribusi beda tegangan yang berbeda saat kondisi objek homogen dan objek dengan anomali yang posisinya bervariasi.

#### Daftar Pustaka:

- [1] Dahlius. Arif Zardi, 2014, "Potensi dan Tantangan Pertambangan di Indonesia"
- [2] Hariadi. Harta, 2017, "Analisis Neraca Sumber Daya Pasir Besi dan Bijih Nikel Indonesia" Teknologi Mineral dan Batu Bara, Vol. 13 (2), pp.153-169.
- [3] Juharni. 2016. Karakteristik Pasir Besi di Pantai Marina Kabupaten Bantaeng, Skripsi, Jurusan Fisika, UIN Alaudin Makasar.
- [4] Sitoresmi. Diah Ayu, 2017, "Studi Eksperimental Kelayakan Sistem Induksi Medan Magnet Dengan Metode Electrical Impedance Tomography" e-Proceeding of Engineering, Vol.4 (3), pp.3869-3876.
- [5] W. Warsito, 2005, "Review : Komputasi Tomografi dan Aplikasinya dalam Proses Industri", Chem.Eng. Eng, The Ohio State University, Columbus, OH 43210, USA.

- [6] Putra. Adityo Shandy, 2015, "Perancangan dan Realisasi Alat Penggerak Koil untuk Automasi Induced Current Electrical Impedance Tomography (ICEIT)" e-Proceeding of Engineering, Vol.2 (3), pp.7330-7336.
- [7] Indraswari. Yustitia Putri, 2015, "Studi Penentuan Konfigurasi Sistem Induksi pada Induced Current Electrical Impedance Tomography (ICEIT)" e-Proceeding of Engineering, Vol.2 (1), pp.531-539.
- [8] Drs. Mulyatno, M.Si. "Fisika Umum 2"
- [9] Noor J. A. F, 2007, "Electrical Impedance Tomography at Low Frequencies", Thesis of Philosophy doctor, University New South Wales, Australia.
- [10] Nejatali. A, 1997, "Electrical Impedance Tomography with Neural Network and Fuzzys", Thesis of Philosophy doctor, University of Manitoba, Canada.
- [11] D. Darmawan, 2010, "Bertanya Fisika Seri Listrik Magnet", Maju Jaya, Bandung.
- [12] D. Darmawan, D. Kurniadi, Suyatman, Janivita, "Applied Current Injection and Magnetic Field Induction Simultaneously on Electrical Impedance Tomography," *International Journal of Tomography and Simulation*, vol. 29, no. 1, 2016.
- [13] D. Darmawan, D. Kurniadi, Janivita, "Study of Induced Current Electrical Impedance Tomography Configuration on 2 Dimensional Rectangular Object," *7th International Conference on Physics and Its Applications*, pp. 65-71, 2015.
- [14] D. Darmawan, D. Kurniadi, Suyatman, Janavita, "Electrical Impedance Tomography in Rectangular Object Using Data Collection System Based on Absolute Boundary Potential Measurement," *OMICS Journal of Radiology*, vol. 3, no. 2, 2014.
- [15] D. Darmawan, D. Kurniadi, Suyatman, "Boundary Potential Distribution in Rectangular Object based on Data Collection System," *3rd International Conference on Theoretical and Applied Physics 2013 (ICTAP 2013)*, pp. 30-34, 2013

