

## STUDI PENENTUAN KONFIGURASI SISTEM INDUKSI PADA *INDUCED CURRENT ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY (ICEIT)*

Yustitia Putri Indraswari<sup>1</sup>, Dudi Darmawan<sup>2</sup>, Mamat Rokhmat<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup> yustitia92@gmail.com, <sup>2</sup> dudiddw@gmail.com, <sup>3</sup> mamatrokhmat76@gmail.com

---

### Abstrak

Salah satu cara untuk mengatasi masalah sensitivitas perubahan konduktivitas objek (*distinguishability*) yang jauh dari batas adalah dengan pemberian arus melalui penginduksian medan magnet. Cara tersebut biasa disebut *induced current electrical impedance tomography (ICEIT)*. Cara ini diharapkan dapat memberikan distribusi arus induksi yang lebih merata dan menjangkau seluruh permukaan objek. Distribusi arus induksi yang terjadi pada permukaan objek ditentukan oleh distribusi medan magnet. Sehingga, diperlukan pemberian distribusi medan magnet yang homogen. Pemberian distribusi medan magnet homogen ini diprediksi bisa menghasilkan distribusi arus induksi yang lebih representatif menutup seluruh permukaan objek. Oleh karena itu dibutuhkan konfigurasi koil yang tepat agar dapat meningkatkan kemampuan deteksi anomali dan *distinguishability* agar dihasilkan citra rekonstruksi yang baik. Pada penelitian ini, konfigurasi koil penginduksi diperoleh melalui penentuan jumlah induksi dan posisi setiap induksi yang optimal dan objek yang digunakan berbentuk *rectangular* dengan bentuk koil yang sama. Dari hasil simulasi dengan variasi jumlah induksi diperoleh bahwa distribusi medan magnet semakin homogen jika memberikan jumlah induksi lebih banyak pada objek. Variasi posisi induksi pada suatu konfigurasi koil tertentu akan menentukan kehomogenan distribusi medan magnet.

**Kata Kunci :** *induced current electrical impedance tomography*, konfigurasi koil, *rectangular coil*, kehomogenan medan magnet

---

### Abstract

One way to overcome the problem of the sensitivity of the object conductivity changes (*distinguishability*) which far from the boundary is the provision of current through the induction of the magnetic field. This way called *induced current electrical impedance tomography (ICEIT)*. This method is expected to give the induced current distribution more equitable and reach the entire surface of the object. The distribution of the induced current in the surface of the object is determined by the distribution of the magnetic field. Thus, the necessary provision of a homogeneous magnetic field distribution. Giving this a homogeneous magnetic field distribution is predicted to generate the induced current distribution more representative cover the entire surface of the object. Therefore, the proper coil configuration is required to improve the ability of anomaly detection and *distinguishability* in order to produce a good image reconstruction. In this research, coil configuration is obtained by determining the number and position of each optimal induction and used rectangular shaped object with the same coil shape. From the simulation results obtained by varying the amount of induction that the more homogeneous distribution of the magnetic if it gives the number of induction more on the object. Variations induction position on a particular coil configuration will determine the distribution of magnetic field homogeneity.

**Keywords :** *induced current electrical impedance tomography*, coil configuration, *rectangular coil*, homogeneity of the magnetic field

---

### 1. Pendahuluan

*Electrical Impedance Tomography* merupakan tomografi yang berdasarkan karakteristik listrik objek. Terdapat dua metoda dalam EIT dalam menentukan distribusi resistivitas objek yaitu dengan cara *injeksi* arus (ACEIT) atau dengan induksi arus (ICEIT). Masalah sensitivitas terhadap perubahan konduktivitas objek (*distinguishability*) yang jauh dari batas yang terjadi pada sistem injeksi arus dapat diatasi salah satunya dengan cara sistem induksi arus (ICEIT). Teknik pemberian arus dapat menentukan kerapatan arus yang terbentuk pada objek dan dapat mempengaruhi hasil rekonstruksi gambar [1].Pemberian arus melalui penginduksian medan magnet pada ICEIT dapat dilakukan di seluruh permukaan objek melalui konfigurasi koil tertentu. Pola arus ini dihasilkan melalui penginduksian medan magnet melalui konfigurasi koil tertentu [2]. Pola arus juga akan mempengaruhi distribusi medan magnet yang menginduksi objek. Diperlukan pemberian medan magnet yang homogen pada daerah

permukaan objek agar kemampuan deteksi terhadap anomali atau *distinguishability* semakin baik. Oleh karena itu diperlukan studi penentuan konfigurasi sistem induksi yang optimal untuk mendapatkan *distinguishability* yang lebih baik pada ICEIT.

Rumusan masalah yang dibahas pada penelitian ini diantaranya adalah bagaimana menentukan beberapa alternatif konfigurasi sistem induksi pada ICEIT berdasarkan jarak induksi koil, jumlah induksi, dan jarak pergeseran posisi koil, bagaimana mencari parameter yang sesuai untuk menentukan kehomogenan distribusi nilai medan magnet pada berbagai macam konfigurasi sistem induksi yang telah ditentukan, bagaimana menentukan kehomogenan distribusi nilai medan magnet dari setiap konfigurasi sistem induksi yang telah ditentukan menggunakan parameter kehomogenan yang telah didapat, serta bagaimana melakukan analisis kehomogenan distribusi nilai medan magnet dari setiap konfigurasi sistem induksi yang telah ditentukan. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mendapatkan parameter yang sesuai untuk menentukan kehomogenan distribusi nilai medan magnet pada berbagai macam konfigurasi sistem induksi yang telah ditentukan untuk keperluan ICEIT dan Mendapatkan konfigurasi sistem induksi yang menghasilkan kehomogenan distribusi nilai medan magnet penginduksi yang lebih baik berdasarkan parameter kehomogenan yang telah didapat untuk konfigurasi sistem induksi yang telah ditentukan agar didapatkan *distinguishability* dan rekonstruksi gambar yang lebih baik pada ICEIT.

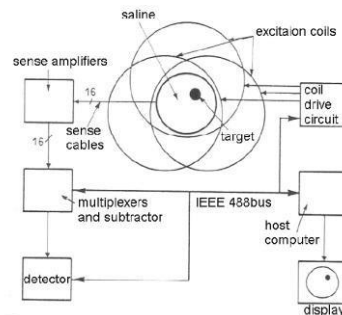
## 2. Dasar Teori /Material dan Metodologi/perancangan

### 2.1 Electrical Impedance Tomography

Metoda EIT menerapkan arus bolak-balik kedalam objek, baik itu dengan injeksi arus (ACEIT) atau dengan induksi arus (ICEIT), lalu mendapatkan informasi keadaan internal suatu objek fisik melalui pengukuran potensial listrik pada permukaan objek karena adanya arus yang mengalir [3]. Pengukuran potensial pada permukaan digunakan untuk mendapatkan distribusi resistivitas yang dapat menentukan kelainan objek yang diteliti.

### 2.2 Induced Current Electrical Impedance Tomography

*Induced Current Electrical Impedance Tomography* (ICEIT) merupakan metoda EIT yang memberikan arus pada objek dengan cara menginduksinya menggunakan kumparan (*coil*). Ilustrasi skematik sistem ICEIT dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Skematik Ilustrasi Sistem ICEIT [ 3]

Pendekatan dengan metoda ini mempunyai keuntungan dibandingkan dengan metoda ACEIT, salah satunya termasuk *signal to noise ratio* (SNR) yang lebih baik karena antara arus yang diberikan tidak bersentuhan langsung dengan objek, Oleh karena itu, distribusi arus didalam objek dapat lebih mudah didesign dan dikontrol dengan merubah geometri atau posisi kumparan (*coil*) atau bisa juga dengan merubah susunan *coil*. Ini membuatnya memungkinkan menaikkan kerapatan arus di daerah objek dimana dengan injeksi arus susah untuk ditembus [3].

### 2.3 Medan Magnet Oleh *Rectangular Coil*

Bentuk bentuk dan dimensi *coil* akan menentukan terhadap rasio *fill factor* yang didefinisikan seperti persamaan 2.1.

$$fill\ factor = \frac{(Diameter_{koil})^2}{(Diameter_{bidang\ test})^2} \quad (2.1)$$

Pada penelitian ini, bentuk dan dimensi *coil* dibuat sama dengan objek, sehingga besar *fill factor* sama dengan 1. Dalam penelitian ini dipilih *rectangular coil* dengan alasan identifikasi *defect*/cacat menjadi lebih efektif [4]. Untuk

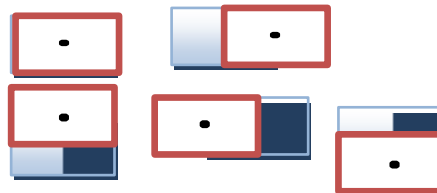
koil berbentuk *rectangular*, perhitungan nilai medan magnet dilakukan dengan menjumlahkan nilai medan magnet oleh sisi kawat ke- $i=1$  sampai 4, sesuai persamaan 2.2.

$$\vec{B}_{rec} = \sum_{i=1}^4 kI \int \left[ \left( \frac{zdy - ydz}{r^3} \right) \hat{i} + \left( \frac{xdz - zdx}{r^3} \right) \hat{j} + \left( \frac{ydx - xdy}{r^3} \right) \hat{k} \right] \quad (2.2)$$

Medan magnet total di suatu titik oleh *rectangular coil* oleh jumlah lilitan ke- $i = 1$  sampai N adalah

$$\vec{B}_{lilitan} = \sum_{i=1}^N \vec{B}_{rec} \quad (2.3)$$

Pada penelitian ini, cara menginduksi dilakukan secara serial dengan cara menggeser-geser titik pusat *coil* yang diletakkan diatas permukaan objek. seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Induksi Secara Serial

## 2.4 Analisis Distribusi Nilai Menggunakan *Grey Level Co-Occurrence Matrix*

Dalam melakukan analisis distribusi suatu nilai diperlukan parameter yang tepat yang bisa mewakili karakteristik dari suatu distribusi nilai tersebut. Sehingga, dalam melakukan analisis kehomogenan distribusi nilai diperlukan parameter yang tepat yang bisa menunjukkan bahwa suatu distribusi nilai itu seragam atau tidak. Salah satu metoda yang bisa digunakan untuk menganalisis suatu distribusi nilai adalah metoda *Grey Level Co-Occurrence Matrix* (GLCM). GLCM adalah suatu matrik yang elemen-elemennya merupakan jumlah pasangan suatu nilai yang memiliki tingkat kecerahan tertentu, dimana pasangan nilai itu terpisah dengan jarak  $d$ , dan dengan suatu sudut inklinasi  $\theta$  [5]. Didalam GLCM ada beberapa parameter yang bisa digunakan untuk menganalisis suatu distribusi nilai diantaranya adalah contrast, correlation, homogeneity, entropy, dan energy. Untuk analisis keseragaman distribusi nilai maka digunakanlah parameter homogeneity.

## 2.5 Konfigurasi Sistem Induksi

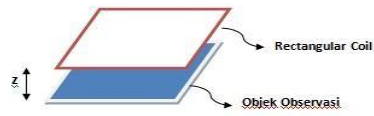
Perbaikan konfigurasi sistem induksi ini yang telah dilakukan yaitu melalui penambahan jumlah induksi [6], penggunaan koil berbentuk orthogonal [7], koil berbentuk *rectangular* [4], maupun segmen-segmen koil [8]. Penambahan jumlah induksi dapat memperbesar jumlah data pengukuran sehingga deteksi terhadap konduktivitas objek menjadi lebih baik [6]. Sedangkan penggunaan bentuk koil lain, selain *circular*, juga dapat dilakukan melalui penyesuaian dengan bentuk objek. Ini disebabkan bentuk geometri objek dapat mempengaruhi hasil ICEIT yang diperoleh [6]. Dalam beberapa aplikasi tertentu, diperlukan pencitraan objek melalui pencuplikan sampel berbentuk *rectangular*. Untuk keperluan tersebut, koil berbentuk *rectangular* digunakan untuk memudahkan pencitraan dengan ICEIT. Sehingga pada penelitian ini, dipilihlah *rectangular coil*.

## 2.6 Beberapa Alternatif Konfigurasi Sistem Induksi

Pada penelitian ini, konfigurasi sistem induksi yang dibahas adalah konfigurasi sistem induksi berdasarkan jarak induksi *coil* dengan permukaan objek, jumlah induksi, dan jarak pergeseran posisi koil dengan simulasi menggunakan Matlab 2010a.

### 2.6.1 Konfigurasi Sistem Induksi Berdasarkan Jarak Induksi

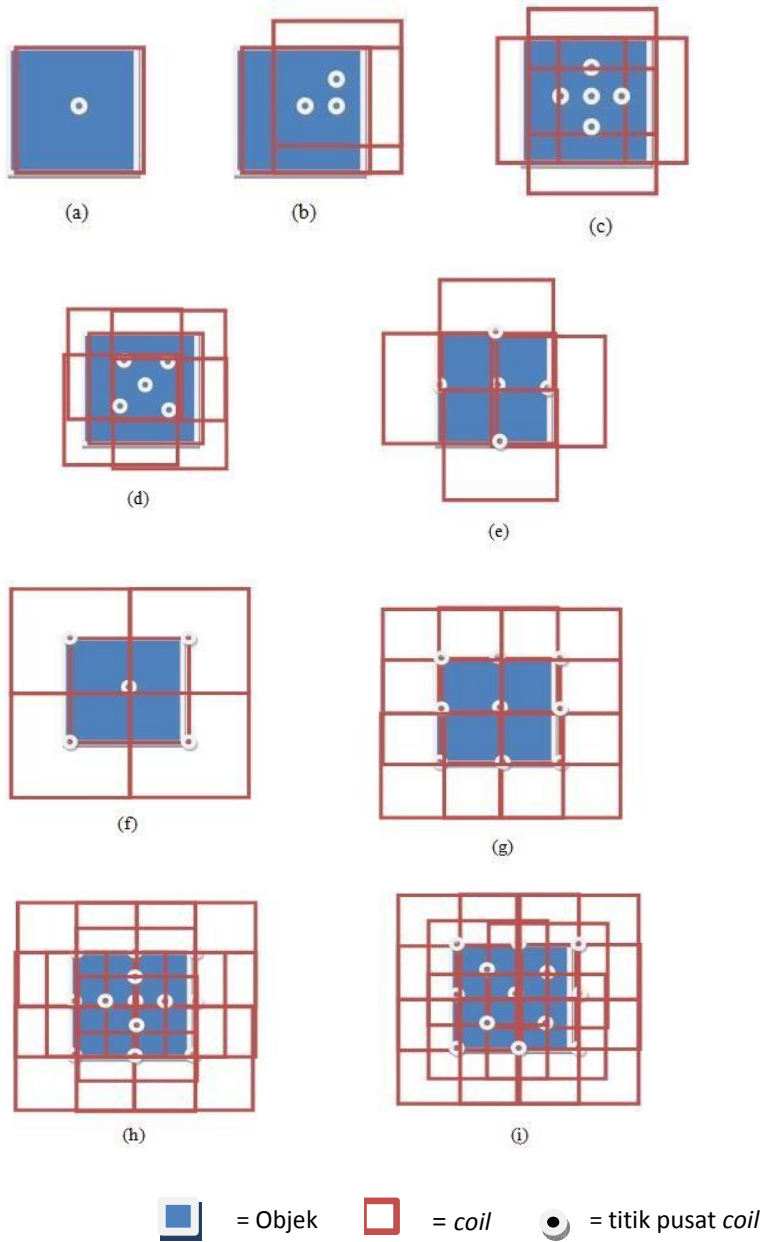
Pada penelitian ini, simulasi pertama yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh jarak induksi antara koil dengan permukaan objek terhadap kehomogenan distribusi nilai medan magnet. Variasi jarak induksi ( $z$ ) yang dilakukan adalah 1m, 0.5 m, 0.1 m, 0.05 m, dan 0.03 m seperti terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Jarak induksi koil dengan permukaan objek

**2.6.2 Konfigurasi Sistem Induksi Berdasarkan Jumlah Induksi**

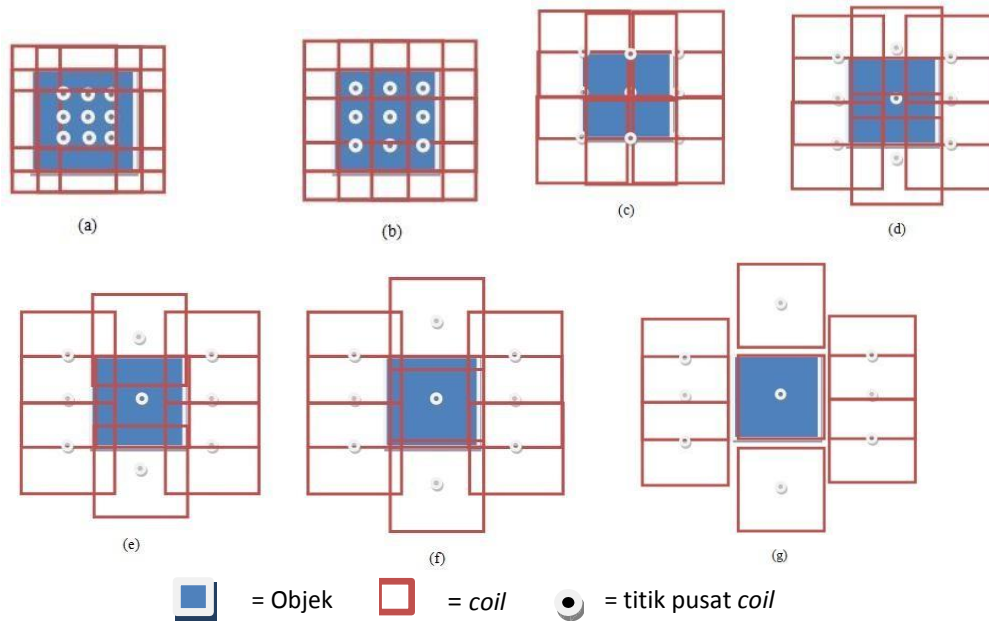
Simulasi selanjutnya adalah simulasi konfigurasi sistem induksi dengan jumlah induksi yang berbeda-beda seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Alternatif konfigurasi coil (a) model 1K (b) model 3K (c) model 5KHV\_25 (d) model 5KDG\_25 (e) model 5KHV\_50 (f) model 5KDG\_50 (g) model 9K\_50 (h) model 13KHV (i) model 13KDG

### 2.6.3 Konfigurasi Sistem Induksi Berdasarkan Pengaruh Jarak Pergeseran *Coil*

Simulasi selanjutnya yang dilakukan adalah simulasi konfigurasi sistem induksi dengan mengubah-ubah jarak pergeseran posisi *coil*. Simulasi yang dilakukan adalah dengan mengambil contoh salah satu konfigurasi sistem induksi yaitu 9K dengan variasi jarak pergeseran koil 30% (3.6 cm), 40% (4.8 cm), 50% (6 cm), 60% (7.2 cm), 70% (8.4 cm), 80% (9.6 cm), dan 90% (10.8 cm) dari posisi awal titik pusat koil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Konfigurasi berdasarkan jarak pergeseran *coil* (a) model 9K\_30 (b) model 9K\_40 (c) model 9K\_50 (d) model 9K\_60 (e) model 9K\_70 (f) model 9K\_80 (g) model 9K\_90

## 3. Pembahasan

### 3.1 Hasil Simulasi Konfigurasi Sistem Induksi Berdasarkan Jarak Induksi

Variasi jarak induksi yang digunakan dalam simulasi ini 1 m, 0.5 m, 0.1 m, 0.05 m, dan 0.03 m. Simulasi dilakukan dengan parameter sistem induksi sebagai berikut :

Lebar sisi *coil* (*rectangular*) = 12 cm

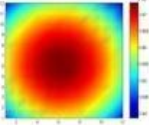
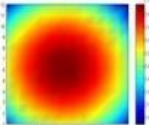
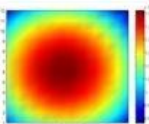
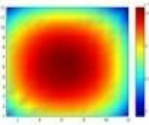
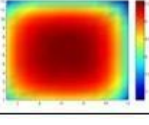
Jumlah lilitan *coil* = 40

Diameter kawat lilitan = 0,001 m

Arus =  $0,02 \sin(\omega t)$ , dengan  $f = 10$  kHz

Hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Hasil Simulasi Konfigurasi Sistem Induksi Dengan Variasi Jarak Induksi

No	Jarak Induksi (m)	Citra	Nilai Kehomogenan
1	1		0.0985
2	0.5		0.1012
3	0.1		0.1013
4	0.05		0.1065
5	0.03		0.1526

Pada jarak koil dengan permukaan objek sebesar 0.05 m nilai kehomogenan distribusi medan magnet penginduksi semakin baik yaitu sebesar 0.1065. Lalu, pada jarak koil dengan permukaan objek sebesar 0.03 m nilai kehomogenan distribusi medan magnet semakin naik yaitu sebesar 0.1526. Pada konfigurasi koil dengan cara mengubah-ubah jarak antara koil dengan permukaan objek menunjukkan bahwa semakin dekat jarak antara koil dengan permukaan objek distribusi medan magnet penginduksi semakin homogen. Sehingga, kemampuan deteksi anomali atau *distinguishability* pada objek semakin baik jika jarak koil semakin dekat dengan permukaan objek karena daerah permukaan akan lebih banyak tertutup oleh arus induksi.

### 3.2 Hasil Simulasi Konfigurasi Sistem Induksi Berdasarkan Jumlah Induksi

Simulasi selanjutnya adalah simulasi konfigurasi sistem induksi dengan variasi jumlah induksi. Dalam simulasi ini parameter sistem induksi yang digunakan sebagai berikut :


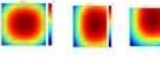
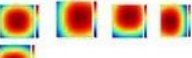
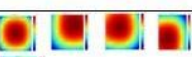
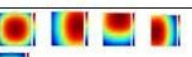
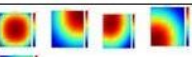
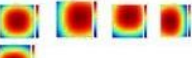

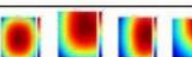
Jumlah lilitan koil = 40

Diameter kawat lilitan = 0,001 m

Arus =  $0,02 \sin(\omega t)$ , dengan  $f = 10$  kHz

Jarak koil ke objek (z) = 0.05 m

Tabel 3.2 Hasil Simulasi Konfigurasi Sistem Induksi Dengan Variasi Jumlah Induksi

No	Konfigurasi	Citra Posisi Setiap Induksi	Medan Magnet Maksimum dari Sejumlah Induksi	Cakupan Induksi Medan Magnet
1	1K		Kehomogenan : 0.1704	Kehomogenan : 0.1704
2	3K_25		Kehomogenan : 0.2071	Kehomogenan : 0.2257
3	5KHV_25		Kehomogenan : 0.2197	Kehomogenan : 0.2965
4	5KDG_25		Kehomogenan : 0.2193	Kehomogenan : 0.2839
5	5KHV_50		Kehomogenan : 0.1913	Kehomogenan : 0.2999
6	5KDG_50		Kehomogenan : 0.1850	Kehomogenan : 0.2788
7	9K_50		Kehomogenan : 0.2152	Kehomogenan : 0.3744
8	13KHV		Kehomogenan : 0.2200	Kehomogenan : 0.4199
9	13KDG		Kehomogenan : 0.2193	Kehomogenan : 0.3989

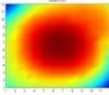
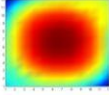
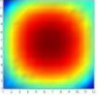
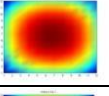
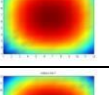
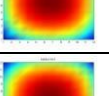
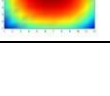
Berdasarkan hasil simulasi pada Tabel 3.2 terlihat bahwa konfigurasi dengan 13x induksi dengan pergeseran horizontal-vertikal (13KHV) memiliki nilai kehomogenan yang lebih baik daripada konfigurasi yang lainnya. Konfigurasi 13KHV memiliki kehomogenan distribusi medan magnet yang lebih baik karena dilihat dari cakupan medan magnet yang menginduksi daerah permukaan objek. Terlihat dari *image* yang terbentuk bahwa dengan melakukan induksi sebanyak 13x, daerah permukaan objek lebih banyak terinduksi oleh distribusi medan magnet yang homogen. Oleh karena itu, semakin banyak jumlah induksi yang dilakukan daerah permukaan objek akan lebih tertutup oleh arus induksi sehingga akan meningkatkan kemampuan deteksi anomali dan *distinguishability* pada objek.

### 3.3 Hasil Simulasi Konfigurasi Sistem Induksi Berdasarkan Jarak Pergeseran Posisi *Coil*

Selanjutnya dilakukan simulasi konfigurasi sistem induksi dengan mengubah-ubah jarak pergeseran posisi *coil*. Pada simulasi ini diambil contoh salah satu konfigurasi sistem induksi 9K dengan mengubah-ubah jarak pergeseran posisi *coil* yaitu 30% (3.6 cm), 40% (4.8 cm), 50% (6 cm), 60% (7.2 cm), 70% (8.4 cm), 80% (9.6 cm), dan 90% (10.8 cm) dari posisi awal titik pusat koil

Hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 3.4

Tabel 4.4 Hasil Simulasi Konfigurasi Sistem Induksi Berdasarkan Jarak Pergeseran Posisi *Coil*

No	Konfigurasi	Citra	Nilai Kehomogenan
1	9K_30		0.2259
2	9K_40		0.2084
3	9K_50		0.1914
4	9K_60		0.1835
5	9K_70		0.1827
6	9K_80		0.1827
7	9K_90		0.1827

Berdasarkan hasil simulasi pengaruh pergeseran koil terhadap kehomogenan distribusi nilai medan magnet terlihat bahwa semakin jauh jarak pergeseran koil kehomogenan distribusi medan magnet semakin kecil. Memberikan induksi dengan pergeseran koil sedekat mungkin, objek lebih terinduksi oleh distribusi medan magnet yang homogen. Sehingga, objek akan lebih tertutup oleh arus induksi. Maka dari itu, deteksi anomali semakin baik apabila memberikan induksi dengan pergeseran koil sedekat mungkin dengan posisi anomali.

#### 4 Kesimpulan

Dari hasil dan analisis data yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka dapat diambil beberapa kesimpulan yakni sebagai berikut :

1. Nilai kehomogenan 1 untuk distribusi nilai medan magnet yang seragam berdasarkan parameter *homogeneity* menggunakan metoda *Grey Level Co-Occurrence Matrix (GLCM)*.
2. Dengan melakukan beberapa alternatif konfigurasi sistem induksi berdasarkan jarak induksi *coil* dengan permukaan objek, jumlah induksi, dan jarak pergeseran posisi *coil* maka dapat diketahui keseragaman/kehomogenan distribusi nilai medan magnet pada setiap konfigurasi menggunakan parameter kehomogenan yang telah didapat. Dengan menggunakan parameter yang telah didapat, maka didapatkan hasil penelitian :
  - (a) Semakin dekat jarak induksi koil dengan permukaan objek, daerah permukaan objek lebih terinduksi oleh distribusi nilai medan magnet yang homogen. Oleh karena itu, daerah objek lebih banyak tertutup oleh arus induksi sehingga deteksi anomali dan *distinguishability* objek dapat lebih baik.
  - (b) Konfigurasi 13x induksi dengan pergeseran koil horizontal-vertikal memiliki kehomogenan distribusi medan magnet yang baik. Sehingga, semakin banyak jumlah induksi yang dilakukan daerah permukaan objek semakin tercakupi oleh distribusi medan magnet yang homogen.
  - (c) Induksi dengan pergeseran koil sedekat mungkin, objek lebih terinduksi oleh distribusi medan magnet yang homogen.



- (d) Dengan menggunakan parameter sistem induksi yaitu jumlah lilitan 40, diameter kawat lilitan 0.001 m, arus 20 mA, frekuensi 10 kHz, jarak koil ke objek sebesar 0.05 m, dan dengan menggunakan konfigurasi koil 13x induksi dengan pergeseran koil sejauh 3 cm arah horisontal-vertikal dapat meningkatkan kemampuan deteksi anomali dan perubahan konduktivitas objek (*distinguishability*) sehingga akan didapatkan rekonstruksi gambar yang lebih baik pada ICEIT.

#### Daftar Pustaka :

- [1] Andy Adler, P.O. Gaggero; Y. Maimaitijiang. 2011. "*Adjacent Simulation and Measurement Patterns Considered Harmful*", Physiological Measurement.
- [2] Gencer, N. G.; Ider, Y. Z.1994. "A Comparative Study of Several Exciting Fields for Induced Current EIT", Physiol. Meas., vol. 15, pp. A51-A57.
- [3] Zlochiever, Sharon. 2005. "*Induced Current Electrical Impedance Tomography For Medical Applications A Theoretical Study*". Thesis Report; The Landman-Slaner Graduate School of Engineering, Tel Aviv University: USA.
- [4] He, Yunze;Pan, Mengchun; Luo, Feilu; Tian, Guiyun.2011. "*Pulsed Eddy Current Imaging and Frequency Spectrum Analysis for Hidden Defect Nondestructive Testing and Evaluation*", NDT & E International Journal, vol 44, 344-352.
- [5] Wijanarko, Toni. 2013. "*Pengenalan Wajah dengan Matriks Kookurensi Aras Keabuan dan Jaringan Syaraf Tiruan Probabilistik*". Tesis. Universitas Diponegoro, Program Studi Magister Sistem Informasi. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [6] Gencer, N. G.; Ider, Y. Z.;Williamson, S. J., 1996. "*Electrical Impedance Tomography :Induced-Current Imaging Achieved with a Multiple Coil System*", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol.43 no.2.
- [7] Grimberg, R.; Savin, A.; Radu, E.; Mihalache, O. "*Nondestructive Evaluation of The Severity of Diskontinuities in Flat Conductive Materials by an Eddy Current Transducer with Orthogonal Coils*", IEEE Trans. Magn, 2000.
- [8] Eyuboglu, B; A. Koksai; M. Demirbilek. 2000. "*Distinguishability Analysis of An Induced Current EIT System Using Discrete Coils*". Phys. Med. Biol.45:1997-2009.