

PERANCANGAN MULTIKOIL PADA SISTEM INDUKSI MEDAN MAGNET

MULTI COIL DESIGN ON MAGNET INDUCTION SYSTEM

M.Nabil Ainul Amri¹, Dudi Darmawan, S.Si., MT., Dr.², Suprayogi M.Si³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung

Aanabil05@gmail.com¹, dudidw@gmail.com², spivogi@yahoo.co.id³

Abstrak

Pengujian suatu material merupakan sebuah proses identifikasi untuk mendeteksi kandungan suatu material, Jumlah kandungan, maupun posisi kandungan material dalam suatu objek. Berbagai tahap identifikasi telah dikembangkan saat ini mulai dari *Destructive Testing* maupun *Non-Destructive Testing*. Seiring dari berkembangnya teknologi, metode *Non-Destructive Testing* yang sering digunakan untuk melakukan pengujian, karena metode *Non-Destructive Testing* ini adalah pengujian tanpa merusak objek secara kontak langsung. salah satunya digunakan dalam bidang eksplorasi. Dalam penelitian tugas akhir ini, objek uji yang akan ditinjau adalah kandungan tanah kosong dan tanah yang dicampur serbuk logam. Dari objek uji ini akan didapatkan beberapa data berupa gaya gerak listrik (ggl) yang akan dianalisis selisih rata – rata nilai perbedaannya. Kemudian dalam pengujiannya masing-masing menggunakan konfigurasi koil yang berbeda sehingga dapat menghasilkan data selisih ggl paling besar pada objek pengujian agar mendapatkan konfigurasi koil yang paling *feasible*.

Kata Kunci: *Non-Destructive Testing, Feasible, Gaya Gerak listrik (ggl), konfigurasi koil.*

Abstract

Testing a material is an identification process to detect the content of a material, the amount of content, and the position of the material content in an object. Various stages of identification have been developed now by starting from Destructive Testing and Non-Destructive Testing. Along with the development of technology, Non-Destructive Testing method is often used to perform testing, because the method of Non-Destructive Testing is a test without damaging the object in direct contact. one of which is used in the field of exploration. In this research, the test object to be reviewed is the content of vacant soil and soil mixed with metal powder. From this test object will be obtained some data in the form of electric motion (emf) to be analyzed difference difference - average value difference. Then in each test using different coil configurations that can produce the largest emission difference data on the test object to obtain the most feasible coil configuration.

Keywords: *Non-Destructive Testing, Feasible, Electric motion force (emf), coil configuration.*

1. Pendahuluan

Pengujian tak merusak atau yang dikenal dengan *Nondestructive Testing* merupakan sekelompok besar teknik analisis yang digunakan dalam industri sains dan teknologi untuk mengevaluasi sifat material, komponen atau sistem tanpa menyebabkan kerusakan [1]. Sering kali teknik analisis ini digunakan untuk keperluan – keperluan identifikasi pada bidang tertentu, seperti di bidang eksplorasi. Pada bidang eksplorasi ini, proses identifikasi digunakan untuk mengetahui ada tidaknya kandungan suatu material, jumlah kandungan material, maupun posisi kandungan material dalam suatu objek.

Banyak metode *Nondestructive Testing* yang dapat digunakan untuk keperluan identifikasi, diantaranya metode injeksi elektrik dan induksi magnet. Metode elektrik adalah salah satu metode yang paling banyak digunakan oleh peneliti dalam lingkup tomografi. Kelebihan metode ini adalah aman karena tidak menggunakan gelombang elektromagnetik, proses identifikasi secara *real time*, biaya relatif murah, serta *portable* karena peralatannya yang sederhana [2]. Namun, pengaplikasian metode elektrik ini pada tomografi memiliki kelemahan pada persoalan ketidaksensitifan akibat pemberian besaran yang stimulus pengukuran dilakukan dibatas objek.

Oleh karena itu, sistem pengukuran potensial listrik kemudian diadopsi dan dilakukan pada metode induksi magnet dengan menggunakan koil.

Penelitian mengenai penggunaan koil dengan memakai metoda induksi magnet ini sebelumnya sudah dilakukan [3]. Pada penelitian tersebut, penggunaan koil berbentuk *rectangular* telah dilakukan dengan mencoba berbagai konfigurasi metodenya. Hasil dari penelitian tersebut adalah mendapatkan distribusi medan magnet penginduksian yang homogen. Hanya saja pada penelitian sebelumnya memiliki kelemahan, yaitu sistem penginduksian medan magnet ke objek dilakukan secara serial menggunakan satu koil. Kurang baiknya *stabilitas* Pergerakan koil juga lah penyebab pergerakannya dilakukan manual untuk setiap titik – titik lokasi penginduksian. Ini yang mengakibatkan jumlah data yang diperoleh akan sebanding dengan jumlah titik lokasi penginduksian. Metoda ini cenderung kurang efisien sebagai metoda pengoleksian data yang menginginkan banyak data untuk sejumlah pengujian di banyak titik.

Pada penelitian ini diusulkan solusi berupa penginduksian menggunakan beberapa koil (multikoil) dengan konfigurasi yang bervariasi berupa matrik koil/array 3x3. Dengan konfigurasi yang bervariasi ini, parameter yang ditinjau adalah jarak serta diameter antar koil ketika konfigurasi koilnya berjumlah 9 (3x3). Dengan metode ini, sejumlah data akan diperoleh pada masing – masing kombinasi titik penginduksian koil tersebut. Kombinasi titik ini akan menjadi metode efektif multikoil dengan variasi konfigurasi terhadap data yang ingin diperoleh.

Dengan demikian, harapan dari penelitian lanjutan ini adalah mengatasi permasalahan konfigurasi yang belum baik stabilitasnya melalui metode eksitasi medan magnet dengan variabel pengaruhnya adalah multikoil berdiameter 8 mm dengan jarak antar koil yang divariasikan. Target penelitian ini adalah mendapatkan rancangan multikoil yang paling maksimal sehingga dapat mengidentifikasi suatu objek. distribusi medan magnet yang menginduksi objek. Rumusan masalah yang dibahas pada penelitian ini diantaranya adalah bagaimana mendapatkan sejumlah koil yang mempunyai nilai induktansi seragam serta bagaimana dapat merancang multukoil yang dapat mendeteksi suatu objek dari selisih perbedaan tengannya. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mendapatkan parameter multikoil dengan nilai induktansi yang seragam yang dirancang pada suatu *array* dan dapat mendeteksi suatu objek. Beberapa rancangan multikoil yang disusun pada penelitian ini nanti ditargetkan akan dipilih konfigurasi yang paling maksimal untuk mengidentifikasi suatu objek.

2. Dasar Teori

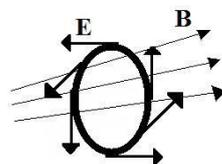
2.1 Sistem Koil

Koil adalah sebuah konduktor listrik seperti kawat berbentuk kumparan, spiral atau heliks. Kumparan elektromagnetik digunakan dimana arus listrik berinteraksi dengan medan magnet, pada perangkat seperti induktor, elektromagnet, transformer, dan koil sensor. Dalam resonansi magnetik, terdapat tiga variasi koil, salah satunya adalah *transmitter* dan *receiver*[4]. Koil *transmitter* merupakan koil yang bertujuan untuk mengambil data dan kemudian mengirimkan sinyal frekuensinya ke koil *receiver* sedangkan koil *receiver* merupakan koil yang bertujuan untuk menerima sinyal resonansi magnet.

2.2 Gaya Gerak Listrik Induksi

Definisi Gaya Gerak Listrik (ggl) sendiri menyatakan bahwa apabila terjadi perubahan fluks dalam suatu loop maka dihasilkan gaya listrik induksi yang berbanding lurus dengan laju perubahan fluks tersebut[6]. Ggl merupakan kerja yang dilakukan per muatan satuan, harus ada gaya yang dikerahkan pada muatan tersebut yang berkaitan dengan ggl tadi. Gaya per muatan satuan merupakan medan listrik **E**, yang dalam hal ini diinduksi oleh fluks yang berubah. Integral tertutup medan listrik di sekeliling rangkaian tertutup sama dengan kerja yang dilakukan per muatan satuan (medan listrik **E**), yang menurut definisi merupakan ggl dalam rangkaian tersebut[5] yaitu :

$$\mathcal{E} = \oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} \quad (2.3)$$



Gambar 2.1 Fluks magnetik terhadap ggl

2.3 Hukum Faraday

Bunyi hukum induksi faraday menyatakan bahwa tegangan gerak listrik (ϵ) yang terinduksi dalam rangkaian sebanding dengan laju perubahan fluks magnetik (ΦB) yang memasuki / menembus rangkaian tersebut[8]. Hukum faraday memiliki persamaan sebagai berikut :

$$\epsilon = - \frac{d\Phi B}{dt} \quad (2.4)$$

Pada kondisi medan magnet yang homogen, maka fluks magnetik yang menembus luasan adalah :

$$BA \cos \Theta \quad (2.5)$$

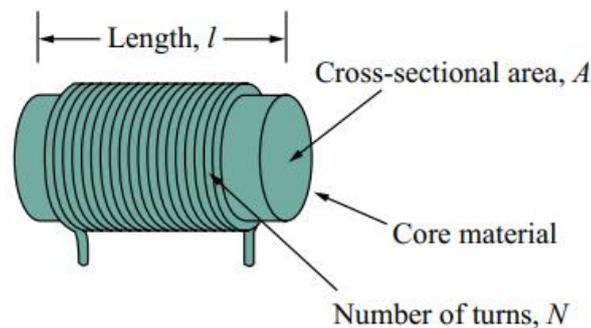
Sehingga menghasilkan tegangan gerak listrik induksi menjadi seperti berikut :

$$\epsilon = - \frac{d}{dt} (BA \cos \Theta) \quad (2.6)$$

Tanda negatif dalam hukum faraday menunjukkan tentang arah ggl induksinya[6]

2.4 Induktor

Induktor adalah elemen pasif yang dirancang untuk menyimpan energi pada medan magnet[5]. Banyak aplikasi yang memanfaatkan induktor ini seperti pada trafo, TV, radio, dan motor listrik. Setiap konduktor arus listrik memiliki sifat induktif juga dikatakan sebagai induktor. Tetapi untuk meningkatkan efek induktif, induktor biasanya dibentuk menjadi koil silinder dengan kumparan kawat konduksi, seperti ditunjukkan pada gambar 2.4 berikut :



Gambar 1.2 Induktor terdiri dari gulungan kawat (kumparan) konduktor[5]

Jika arus melintasi induktor, maka akan adanya tegangan di induktor berbanding lurus dengan laju perubahan waktu. Dapat dirumuskan dalam persamaan berikut :

$$V = L \frac{di}{dt} \quad (2.6)$$

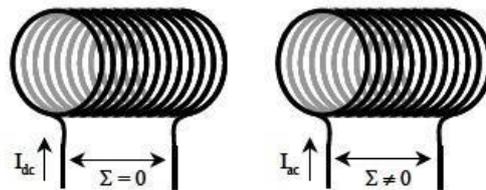
Dimana V adalah tegangan di induktor dengan satuannya adalah Volt (V). sedangkan L adalah konstanta proporsionalitas yang disebut induktansi dari induktor. Satuan induktansi adalah Henry (H). induktansi induktor tergantung pada dimensi fisik dan konstruksinya. Rumus untuk menghitung induktansi induktor berbeda dari teori elektromagnetik, Salah satu contoh induktor adalah solenoid. Maka rumus persamaan adalah sebagai berikut :

$$L = \frac{N^2 \mu A}{\ell} \quad (2.7)$$

Dimana N adalah jumlah lilitan, ℓ adalah Panjang kumparan koil, A adalah luas penampang, dan μ adalah permeabilitas inti. Dari persamaan (2.7) diatas induktansi dapat ditingkatkan dengan meningkatkan jumlah lilitan koil, menggunakan material dengan permeabilitas lebih tinggi sebagai inti, meningkatkan luas penampangnya, atau mengurangi panjang kumparan koil

2.5 Induktansi

Ketika dua buah kumparan didekatkan, maka akan menimbulkan medan magnet induksi. Jika ada solenoid yang dialiri arus konstan searah maka beda potensial antara dua ujung solenoid hampir nol karena beda potensial sama dengan perkalian arus dan hambatan solenoid[7]. Tapi jika solenoid dialiri arus yang berubah – ubah terhadap waktu, maka sifat solenoid akan berubah. Ini akan mempengaruhi medan magnet serta fluks magnet yang dikandung oleh solenoid dan mengakibatkan ggl induksi



Pada solenoid (a) Solenoid yang dialiri arus DC konstan, tidak muncul tegangan antara dua ujung solenoid sedangkan (b) Solenoid dialiri arus AC maka muncul tegangan antara dua ujung solenoid[7]. Maka dapat didefinisikan kuat medan magnet dalam rongga solenoid adalah :

$$B = \mu_0 n I \quad (2.10)$$

Jika luas penampang solenoid A maka fluks magnetis dalam solenoid, adalah:

$$\phi = BA = \mu_0 n I A \quad (2.11)$$

Maka, berdasarkan hukum Faraday, ggl induksi pada solenoid dapat dirumuskan menjadi :

$$\mathcal{E} = -N \mu_0 n A \frac{dI}{dt} \quad (2.12)$$

Tampak pada persamaan (2.12) menyatakan ggl induksi yang dihasilkan berbanding lurus dengan laju perubahan arusnya. Tanda minus merupakan polarisasi ggl yang dihasilkan melawan laju perubahan arus.

2.4 Bahan Ferromagnetik

Bahan ferromagnetik adalah bahan yang mempunyai resultan medan atomis besar. Hal ini terutama disebabkan oleh momen magnetik spin elektron. Pada bahan ferromagnetik banyak spin elektron yang tidak berpasangan. Masing-masing spin elektron yang tidak berpasangan ini akan memberikan medan magnetik, sehingga total medan magnetik yang dihasilkan oleh suatu atom lebih besar.

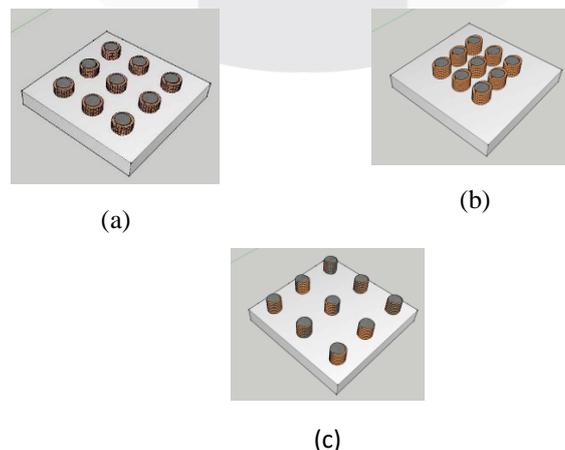
Bahan ferromagnetik memiliki nilai suseptibilitas magnetik X_m yang positif dan sangat tinggi dan serta memiliki gaya tarik yang kuat terhadap medan magnet. Suseptibilitas magnetik (X_m) adalah ukuran dasar bagaimana sifat kemagnetan suatu bahan ditunjukkan dengan adanya respon terhadap induksi medan magnet yang merupakan rasio antara magnetisasi dengan intensitas medan magnet. Untuk bahan ferromagnetik mempunyai suseptibilitas magnetic $X_m > 0$ dan $X_m > 1$.

Permeabilitas relatif bahan ferromagnetik mereka jauh lebih besar dari satu, $\mu_r \gg 1$. Permeabilitas magnetik adalah kemampuan suatu benda untuk dilewati garis gaya magnet. Permeabilitas dinyatakan dengan simbol μ (mu). Beberapa contoh bahan ferromagnetik seperti besi, nikel, cobalt, baja dan lain-lain.

3. Pembahasan

3.1 Konfigurasi Sistem Induksi Dengan Jumlah 3x3

Simulasi pertama yang akan dilakukan adalah simulasi sistem induksi dengan konfigurasi koil nya berjumlah 3x3 dengan diameter serta jarak antar koil yang berbeda seperti yang di tunjukkan pada gambar 3.2.1. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan nilai medan magnet dari setiap konfigurasi sistem induksi. Maka, melalui distribusi nilai medan magnet itulah bisa diketahui bagaimana pengaruh jumlah induksi terhadap kehomogenan distribusi medan magnet.



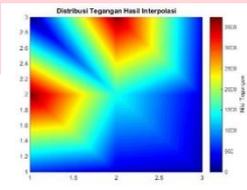
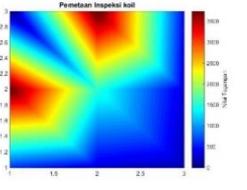
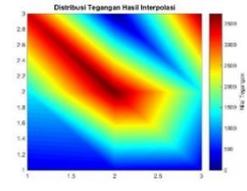
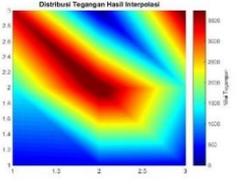
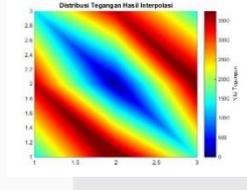
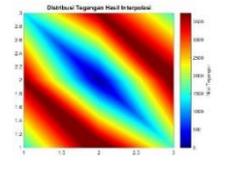
Gambar 3.1 Model Desain Konfigurasi Koil 3x3

Pada Gambar (a), (b), dan (c) adalah model konfigurasi koil 3x3 dengan diameter 1 cm. perbedaan diantara ketiga gambar adalah jarak antar koil nya. Gambar (a) adalah model dengan jarak yang sama antar koil, yaitu berjarak 1,3 cm. Pada gambar (b) adalah model konfigurasi koil yang dimampatkan berpusat di tengah. Jarak antara ujung array dengan koil pertama adalah 1,6 cm dan jarak antar koil adalah 1cm. Gambar (c) adalah model konfigurasi yang koilnya berada di ujung *expanded* ke pinggir dan hanya berjarak 1 cm dari ujung array.

3.2 Pengujian Konfigurasi Koil Model Normal

Pengujian ini dilakukan dengan 2 tahapan, tanpa objek dan diberi objek. Tujuannya agar mendapatkan perbedaan data koil receiver pada konfigurasi ini tanpa pemberian objek dengan pemberian objek dan mendapatkan konfigurasi yang paling baik untuk mendeteksi suatu objek. Konfigurasi ini merupakan model dengan jarak antar koil sama, yaitu berjarak 1,3 cm. Percobaan ini dilakukan sebanyak 3 kali percobaan dengan mengubah ubah nilai frekuensi dari 100 kHz – 500 kHz dengan menggunakan amplitudo 10 Vpp dan 20 Vpp. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel visualisasi berikut :

Tabel 3.2 Nilai Induktansi diri Koil

Tipe	Nomor Koil Transmitter	Pengujian	
		Tanpa Objek	Dengan Objek
Normal	1		
	2		
	5		

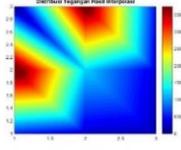
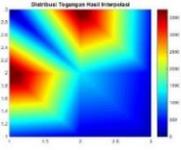
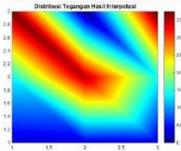
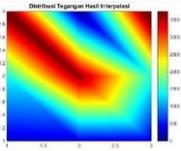
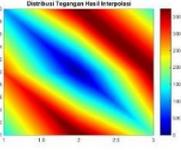
Tabel 3.3 Visualisasi Konfigurasi Tipe Normal

Dapat dilihat dari tabel 3.2 diatas memvisualisasikan perbedaan antara perlakuan tanpa pemberian objek dengan diberi objek dapat dilihat dari kepekatan warnanya. Perlakuan dengan diberi objek memiliki warna merah yang lebih pekat dibanding dengan perlakuan tanpa diberi objek. Ini menunjukkan perlakuan ketika diberi objek memiliki nilai yang lebih besar daripada perlakuan tanpa objek. Pada tabel 3.2 juga dijelaskan, visualisasi ketika koil nomor 1, 2, dan 5 menjadi koil transmitter, terlihat penyebaran nilai tegangan paling optimal terjadi ketika koil bernomor 5 menjadi transmitter.

3.3 Pengujian konfigurasi koil model dimampatkan ke tengah

Sama seperti pengujian pada model normal, Pengujian ini dilakukan dengan 2 tahapan, tanpa objek dan diberi objek. Tujuannya agar mendapatkan perbedaan data koil receiver pada konfigurasi ini tanpa pemberian objek dengan pemberian objek dan mendapatkan konfigurasi yang paling baik untuk mendeteksi suatu objek. Perbedaannya, pada konfigurasi ini dimodelkan dengan memampatkan koil ke tengah arraynya dan berjarak 1 cm antar koilnya. Percobaan ini dilakukan sebanyak 3 kali percobaan dengan mengubah ubah nilai frekuensi dari 100 kHz – 500 kHz dengan menggunakan amplitudo 10 Vpp dan 20 Vpp. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel

visualisasi berikut :

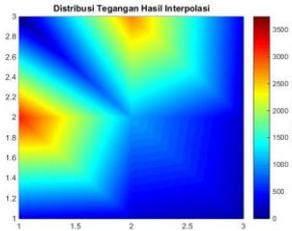
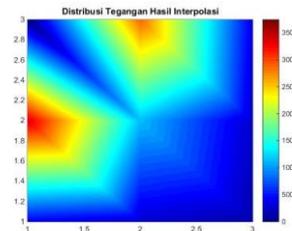
Tipe	Nomor Koil Transmitter	Pengujian	
		Tanpa Objek	Dengan Objek
Dimampatkan Ke Tengah	1		
	2		
	5		

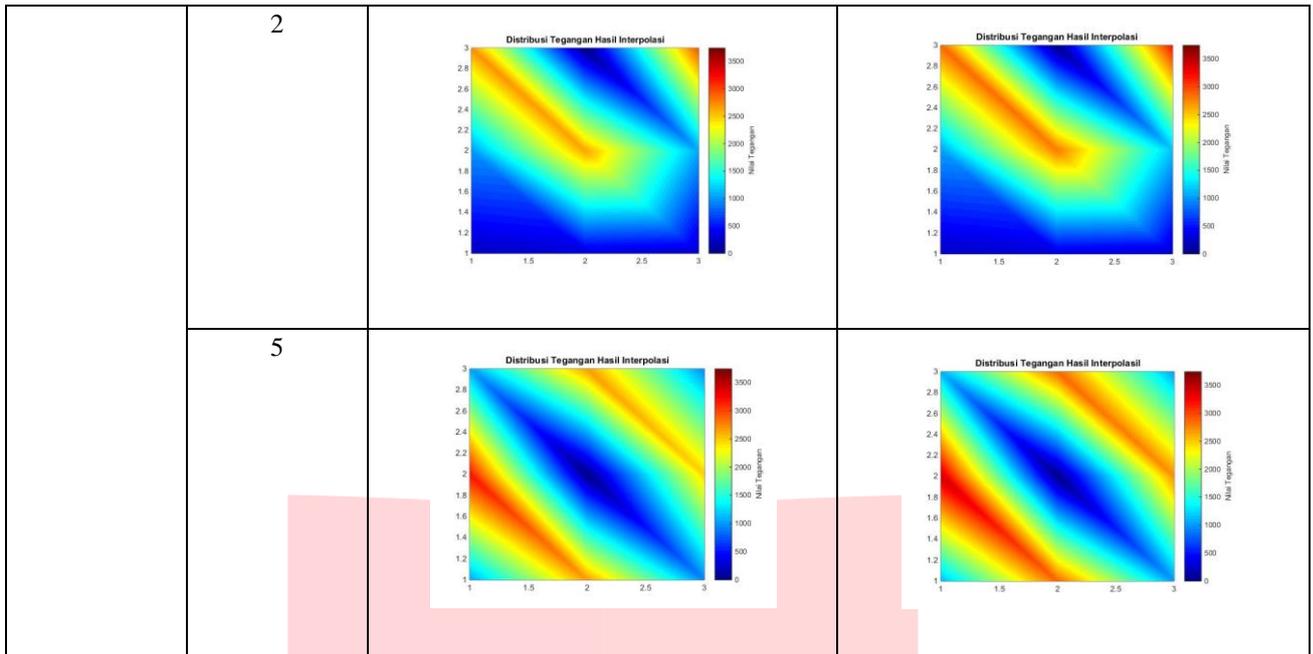
Tabel 3.4 Visualisasi Konfigurasi Tipe Dimampatkan Ke Tengah

Dapat dilihat dari tabel 3.3 diatas memvisualisasikan perbedaan antara perlakuan tanpa pemberian objek dengan diberi objek dapat dilihat dari kepekatan warnanya. Perlakuan dengan diberi objek memiliki warna merah yang lebih pekat dibanding dengan perlakuan tanpa diberi objek. Ini menunjukkan perlakuan ketika diberi objek memiliki nilai yang lebih besar daripada perlakuan tanpa objek. Sama seperti konfigurasi tipe normal, pada tabel 3.3 juga memiliki nilai penyebaran tegangan paling optimal terjadi ketika koil bernomor 5 menjadi transmitter.

3.4 Pengujian konfigurasi koil model Expanded ke Pinggir

Sama seperti pengujian pada model normal, Pengujian ini dilakukan dengan 2 tahapan, tanpa objek dan diberi objek. Tujuannya agar mendapatkan perbedaan data koil receiver pada konfigurasi ini tanpa pemberian objek dengan pemberian objek dan mendapatkan konfigurasi yang paling baik untuk mendeteksi suatu objek. Perbedaannya, pada konfigurasi ini dimodelkan dengan memampatkan koil ke tengah arraynya dan berjarak 1 cm antar koilnya. Percobaan ini dilakukan sebanyak 3 kali percobaan dengan mengubah ubah nilai frekuensi dari 100 kHz – 500 kHz dengan menggunakan amplitudo 10 Vpp dan 20 Vpp. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel visualisasi berikut :

Tipe	Nomor Koil Transmitter	Pengujian	
		Tanpa Objek	Dengan Objek
Expanded Ke Pinggir	1		

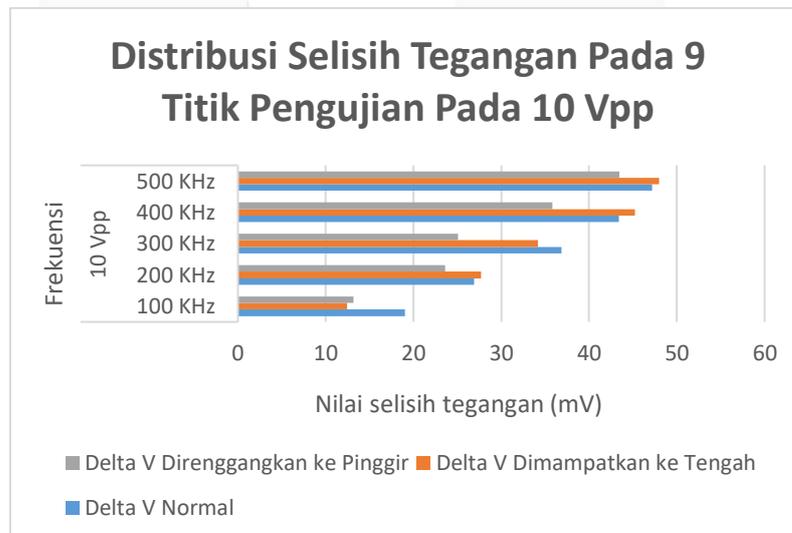


Tabel 3.5 Visualisasi Konfigurasi Tipe Dimampatkan Ke Tengah

Dapat dilihat dari tabel 3.5 diatas memvisualisasikan perbedaan antara perlakuan tanpa pemberian objek dengan diberi objek dapat dilihat dari kepekatan warnanya. Perlakuan dengan diberi objek memiliki warna merah yang lebih pekat dibanding dengan perlakuan tanpa diberi objek. Ini menunjukkan perlakuan ketika diberi objek memiliki nilai yang lebih besar daripada perlakuan tanpa objek. Koil bernomor 5 pun menjadi koil transmitter dengan nilai penyebaran tegangan paling optimal seperti konfigurasi tipe normal dan tipe dimampatkan ke tengah.

3.5 Analisis Distribusi Selisih Tegangan Pada 9 Titik Pengujian

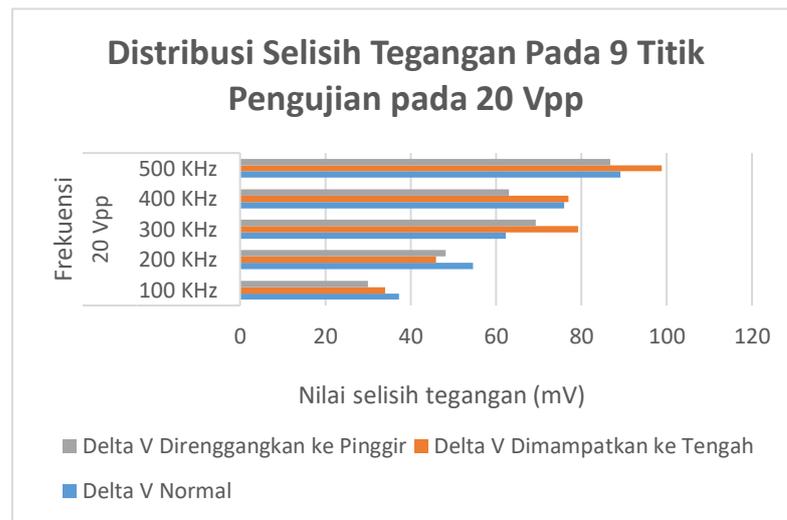
Dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konfigurasi paling dan baik untuk mendeteksi perbedaan adanya suatu objek atau tidak. Pada grafik dibawah ini terdapat distribusi tegangan hasil interpolasi dari selisih 9 titik pengujian pada koil *receiver* antara perlakuan tanpa objek dan diberi objek di 3 konfigurasi koil, yaitu konfigurasi model normal, model dimampatkan ke tengah, dan model expanded ke pinggir dengan inputan 10 Vpp dan 20Vpp.



Gambar 4.1 Grafik Selisih Tegangan Pada 9 Titik Pengujian Pada 10 Vpp

Dapat dilihat bahwa grafik 4.1, pada kondisi frekuensi 100 Hz dan 300 Hz nilai selisih tegangan pada 9 titik pengujian memiliki nilai terbesar pada konfigurasi model normal. Sedangkan Untuk frekuensi 200 Hz, 400 Hz, dan 500 Hz konfigurasi dengan nilai yang paling optimum ketika tegangan inputnya diberi tegangan 10 Vpp adalah konfigurasi model Dimampatkan ke Tengah. Maka, dapat disimpulkan melalui grafik 4.5.1 diatas, nilai

optimum untuk inputan tegangan 10 Vpp memiliki perbedaan setiap frekuensinya. Dan untuk nilai selisih tegangan paling besar diantara 3 konfigurasi yang dirancang pada inputan 10 Vpp adalah konfigurasi koil model dimampatkan ke tengah dengan frekuensi 500 Hz.



Gambar 4.1 Grafik Selisih Tegangan Pada 9 Titik Pengujian Pada 20 Vpp

Dapat dilihat juga pada grafik 4.2 diatas sedikit memiliki nilai optimum yang berbeda. Pada kondisi frekuensi 100 Hz dan 200 Hz nilai selisih tegangan pada 9 titik pengujian memiliki nilai terbesar pada konfigurasi model normal. Sedangkan Untuk frekuensi 300 Hz, 400 Hz, dan 500 Hz konfigurasi dengan nilai yang paling optimum ketika tegangan inputnya diberi tegangan 20 Vpp adalah konfigurasi model Dimampatkan ke Tengah. Maka, dapat disimpulkan melalui grafik 4.5.2 diatas, nilai optimum untuk inputan tegangan 20 Vpp juga memiliki perbedaan setiap frekuensinya. Dan untuk nilai selisih tegangan paling besar diantara 3 konfigurasi yang dirancang pada inputan 20 Vpp adalah sama dengan inputan 10 Vpp, yaitu konfigurasi koil model dimampatkan ke tengah dengan frekuensi 500 Hz.

4. Kesimpulan

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

1. Nilai induktansi yang seragam dengan standar deviasi 0,0067 pada setiap koil diperoleh dengan menyamakan parameter untuk semua koil, yaitu jumlah lilitan, Panjang koil, dan diameter koil.
2. Pada setiap konfigurasi multikoil terbaca selisih nilai Tegangan di koil receivernya pada pengujian tanpa objek dan pengujian dengan objek dengan batas frekuensi 100 kHz – 500 kHz.
3. Konfigurasi dengan selisih tegangan pada 9 titik terbesar adalah konfigurasi model dimampatkan ke tengah dengan frekuensi 500 KHz untuk dengan nilai selisih 48 mV untuk inputan 10 Vpp dan 98,81 mV untuk inputan 20 Vpp.

5. Referensi

- [1] Cartz, Louis (1995). *Nondestructive Testing*. A S M International. ISBN 978-0-87170-517-4.
- [2] Anugrah, Mutiah (2014), *Applied Current Electrical Impedance Tomography (Aceit) Pada Bidang Vertikal Bawah Tanah Menggunakan Metode Newton Raphson*
- [3] Darmawan, D. (2015), *Study of Induced Current Electrical Impedance Tomography Configuration on 2 Dimensional Rectangular Object*, Proc. The 7th ICOPIA International Conference on Physics and Its Applications, vol.1.
- [4] Horowitz, A.L. (1992). *MRI Physics for Radiologists A Visual Approach Second Edition*. Vol. 18.
- [5] Alexander, Charles; Sadiku, Matthew. *Fundamentals of Electric Circuits (Third Edition)*.
- [6] Novitasari, Febriyanti (2015), *Study Perbandingan Konfigurasi Koil Metoda Eddy Current Testing (ECT) Pada Bahan Ferromagnetik dan Non Ferromagnetik*
- [7] Gencer, N. G. Ider, Y. Z. (1996) : *Electrical Impedance Tomography : Induced-Current Imaging Achieved with a Multiple Coil System*, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 43, No. 2
- [8] Anonim. *Electromagnetism and formation of magnetic fields*. Engineering Toolbox. https://www.engineeringtoolbox.com/permeability-d_1923.html. Diakses Tanggal 25 Juli 2018