

ANALISIS DISTRIBUSI MEDAN MAGNET KOIL TUNGGAL DAN KOIL JAMAK SECARA EKSPERIMEN

ANALYSIS OF SINGLE AND MULTI COIL MAGNETIC DISTRIBUTION EXPERIMENTALLY

Firmawan Matutu P¹, Dudi Darmawan², Nurwulan Fitriyanti³

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

¹matutufirmawan2121@gmail.com, ²dudidw@gmail.com,

³Nurwulanf@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Metode *Non-Destructive Testing* merupakan metode pengujian atau identifikasi dari suatu material tanpa merusak material uji. Metode ini memanfaatkan medan magnet dari sejumlah koil pemancar yang kemudian akan diarahkan menuju koil penerima melewati material uji. Karena homogenitas dari medan magnet yang terbentuk sangat berpengaruh terhadap akurasi data yang didapatkan, sehingga perlu adanya analisis bentuk koil pemancar untuk melihat distribusi medan magnet yang terbentuk. Pada penelitian tugas akhir kali ini dilakukan analisis bentuk koil dengan merancang sistem koil tunggal dan koil jamak berbentuk persegi. Koil tersebut diberikan input berupa tegangan 1V, 2V dan 3V. Medan magnet yang terbentuk kemudian diukur sebanyak 100 titik yang berjarak 1cm dari ujung koil setiap tegangan pengukuran. Hasil yang diperoleh didapatkan distribusi medan magnet yang lebih homogen pada sistem koil jamak. Pada tegangan 1 V menunjukkan nilai homogenitas 0,8375 untuk koil tunggal dan 0,8778 untuk koil jamak. Untuk tegangan 1,5 V menunjukkan nilai homogenitas 0,7769 untuk sistem koil tunggal dan nilai 0,9093 untuk sistem koil jamak. Dan untuk tegangan 2 V nilai homogenitas pada sistem koil tunggal adalah 0,7370 dan koil jamak 0,7852. Besar nilai medan magnet pada koil tunggal lebih besar dibandingkan koil jamak. Pada tegangan 1 V menunjukkan nilai medan magnet tertinggi 2,7 G untuk koil tunggal dan 1 G untuk koil jamak. Untuk tegangan 1,5 V menunjukkan nilai medan magnet tertinggi 4,3 G untuk sistem koil jamak dan nilai 1,9 G untuk sistem koil tunggal. Dan untuk tegangan 2 V nilai medan magnet tertinggi pada sistem koil jamak adalah 5,9 G dan koil tunggal 2,3 G

Kata kunci : *Non-Destructive Testing*, homogenitas, koil tunggal, koil jamak, dan distribusi medan magnet.

Abstract

The *Non-Destructive Testing Method* is a testing method or an identification of a material without damaging the test material. This method utilizes the magnetic field from a number of coils (transmitters) which will then be directed towards the receiver through the test material. Because the homogeneity of the formed magnetic field is very influential on the accuracy of the data obtained, it is necessary to analyze the shape of the transmitter coil to see the distribution of the formed magnet field. In this final assignment research coil shape analysis is done by designing a square shaped multicoil and singlecoil system which will then be seen the distribution of the magnetic field that formed when flowing. The coil is given an input in the form of 1V, 2V and 3V voltages. The magnetic field formed is then measured as many as 100 points 1cm away from the end of the coil at each measurement voltage. The results obtained are more homogeneous magnetic field distribution in the plural coil system. At 1 V the voltage shows a homogeneity value of 0.8375 for a single coil and 0.8778 for a plural coil. For a voltage of 1.5 V it shows a homogeneity value of 0.7769 for a single coil system and a value of 0.9093 for multiple coil systems. And for 2 V voltage homogeneity value in a single coil system is 0.7370 and plural coil is 0.7852. The value of the magnetic field on a single coil is greater than the plural coil. At 1 V the voltage indicates the highest magnetic field value of 2.7 G for a single coil and 1 G for a plural coil. For a voltage of 1.5 V, the highest magnetic field value is 4.3 G for multiple coil systems and 1.9 G for single coil systems. And for the 2 V voltage the highest magnetic field value in the plural coil system is 5.9 G and a single coil of 2.3 G

Key words: Non-Destructive Testing, homogeneity, singlecoil, multicoil, and magnetic field distribution.

1. Pendahuluan

Pengujian tak merusak (Non-Destructive Testing) merupakan salah satu teknik analisis yang digunakan dalam industri sains dan teknologi untuk mengevaluasi sifat-sifat suatu bahan, komponen atau sistem tanpa menyebabkan kerusakan [1]. Metode ini memiliki banyak cabang sesuai dengan jenis material yang diuji, salah satunya metode induksi magnet yang merupakan metode yang paling banyak digunakan.

Metode induksi magnet memanfaatkan medan magnet yang terbentuk pada koil yang dialirkan arus yang kemudian diarahkan ke material uji, sehingga keakuratan metode ini sangat berpengaruh pada homogenitas medan magnet yang terbentuk. Kelebihan dari metode ini adalah dapat melakukan evaluasi tanpa merusak struktur, bentuk, dan kandungan objek [1].

Penelitian untuk melihat homogenitas dari medan magnet menggunakan koil tunggal berbentuk persegi sudah pernah dilakukan sebelumnya [2]. Dimana hasil dari penelitian tersebut didapatkan distribusi medan magnet yang cukup homogen pada jarak tertentu dengan objek sesuai dengan ukuran koil [2]. Karena sistem tersebut menggunakan sistem koil tunggal mengharuskan pengukuran dilakukan secara berulang-ulang dengan menggeser sistem koil untuk objek dengan titik ukur yang banyak, akibatnya waktu pengukuran terhambat (*delay real time*) dan mengganggu stabilitas jarak titik ukur.

Pada penelitian kali ini akan dilakukan perancangan sistem koil jamak berbentuk persegi yang diharapkan dapat menghasilkan distribusi medan magnet yang lebih homogen dan mencakup titik pengukuran yang luas sehingga pengukuran untuk objek banyak titik dapat dilakukan bersamaan (*real time*) dan merata disemua titik dengan jarak titik ukur yang lebih stabil. Penggunaan koil bentuk persegi dikarenakan memiliki nilai homogenitas yang lebih baik dibandingkan dengan bentuk lingkaran ataupun persegi [3].

Eksperimen ini akan menganalisa dan membandingkan homogenitas medan magnet yang terbentuk dari sistem koil tunggal dan koil jamak yang masing-masing memiliki luas berukuran 8,5x8,5 cm². Dengan memperhatikan parameter masing-masing sistem berupa nilai induktansi, ukuran sistem koil, jumlah lilitan dan juga jarak titik ukur yang sama sehingga diperoleh analisis perbandingan yang sebanding.

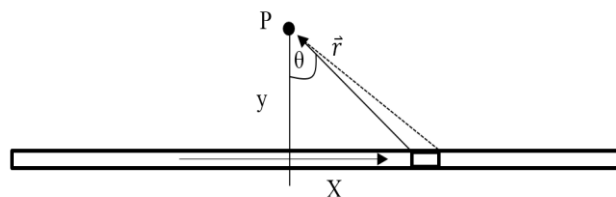
2. Dasar Teori dan Metodologi Penelitian

2.1 Hukum Biot-Savart

Prinsip Hukum Biot-Savart adalah dengan menghitung besarnya elemen medan magnet dB disuatu titik disekitar penghantar berarus oleh sebuah segmen arus idl pada penghantar [4]. Elemen medan magnet $d\vec{B}$ disuatu titik berbanding lurus dengan besarnya arus yang mengalir sepanjang segmen panjang dl penghantar tersebut. Sehingga besarnya elemen medan magnet dirumuskan sebagai berikut:

$$\vec{B} = \int dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

Dimana B adalah Medan magnet (Tesla), μ_0 adalah Permeabilitas ruang hampa ($4\pi \times 10^{-7}$ H/m), i adalah kuat arus listrik (A) dan r adalah jarak terdekat titik ukur dengan penghantar (m).



Gambar 2.1 Medan magnet dititik P oleh penghantar lurus berarus

Untuk menghitung besarnya medan magnet oleh sebuah penghantar arus lurus berhingga:

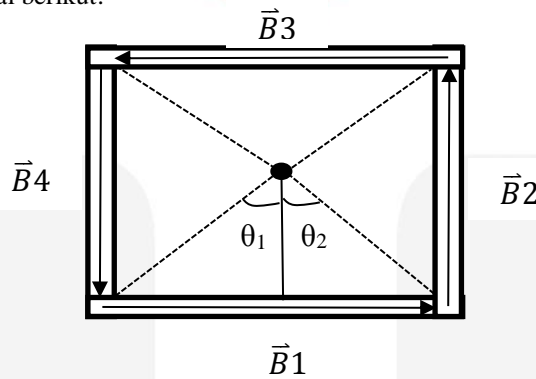
$$\vec{B} = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{\mu_0 i}{4\pi y}$$

Dan untuk penghantar lurus tak hingga, maka $\theta_1 = -\infty$ dan $\theta_2 = \infty$, sehingga dapat dirumuskan :

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{4\pi y}$$

2.2 Medan Magnet Pada Koil Kotak

Berdasarkan hukum biot-savart untuk menghitung besarnya medan magnet disuatu titik dari penghantar arus lurus berhingga (2.2) dapat dirumuskan medan magnet dititik pusat koil kotak persegi sebagai berikut:



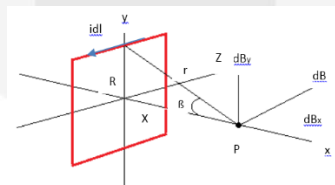
Gambar 2.2 Medan magnet dititik pusat koil kotak

$$\vec{B} \text{ total} = \vec{B}1 + \vec{B}2 + \vec{B}3 + \vec{B}4$$

$$d\vec{B}1 = d\vec{B}2 = d\vec{B}3 = d\vec{B}4 = d\vec{B}$$

$$\vec{B} \text{ total} = 4 \int d\vec{B}$$

Untuk menentukan medan magnet pada titik diluar inti koil maka digunakan persamaan sebagai berikut :



Gambar 2.3 Medan magnet diluar koil kotak

$$\vec{B} = \int dB_{\parallel} \hat{m} + dB_{\perp} \hat{n}$$

Dimana \hat{m} adalah vektor satuan dengan arah sejajar sumbu koil kotak dan \hat{n} adalah vektor satuan dengan arah tegak lurus sumbu koil kotak. Untuk titik diluar koil yang sejajar dengan titik pusat koildiperoleh persamaan berikut:

$$\vec{B} = \int dB_{\parallel} \hat{m}$$

Karena medan magnet arah \hat{n} berubah-ubah sehingga slemen ini saling meniadakan sehingga $dB_{\perp} \hat{n} = 0$.

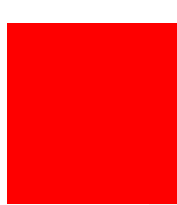
2.3 Grey Level Co-Occurrence Matrix (GLCM)

Grey Level Co-Occurrence Matrix atau disingkat GLCM merupakan metode statistik yang mempertimbangkan hubungan spasial piksel [5]. Fungsi GLCM mencirikan tekstur gambar dengan menghitung banyaknya jumlah piksel dengan nilai-nilai spesifik [5]. Di dalam GLCM terdapat lima parameter yang salah satunya *homogeneity* yang merupakan parameter yang cocok digunakan untuk mencari kehomogenan distribusi nilai. Rentang nilai homogenitas (H) $0 < H \leq$

1. Homogenitas bernilai tinggi ketika medan magnet mempunyai nilai yang sama/seragam. Dengan rumus sebagai berikut [5] :

$$\text{Homogenitas} = \sum_{i,j} \frac{P(i,j)}{1 + |i - j|}$$

Dimana P adalah nilai objek pada matrix (i,j). Untuk mengkalkulasikan homogenitas dari citra di MATLAB dengan GLCM perintahnya adalah `stats = graycoprops (glcm, 'homogeneity')` [5]. Dari hasil penelitian sebelumnya ekstraksi ciri dengan menggunakan GLCM adalah metode ekstraksi yang paling baik [6]. Metode yang dibandingkan adalah intensitas histogram, GLCM, dan intensitas berdasarkan fitur [6]. Beberapa contoh homogenitas dengan ragam warna, dari objek warna seragam (Gambar 2.4), objek warna acak (Gambar 2.5 dan 2.6) dan contoh salah satu hasil distribusi medan magnet koil tunggal pada penelitian yang sudah dilakukan (Gambar 2.7) [7].



Kontras	0
Korelasi	NaN
Energi	1
Homogenitas	1

Gambar 2.4 Warna merah



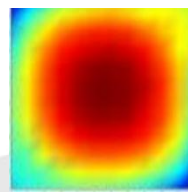
kontras	0.4992
Korelasi	0.9998
Energi	0.1872
Homogenitas	0.865

Gambar 2.5 Bendera Jerman



kontras	260.5328
Korelasi	0.8621
Energi	0.1419
Homogenitas	0.5132

Gambar 2.6 Bunga berwarna



Homogenitas= 0,284

Gambar 2.7 Medan magnet koil tunggal

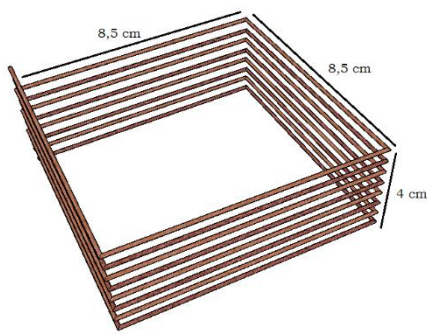
Berdasarkan objek ragam warna diatas dapat dilihat bahwa semakin seragam warna objek semakin besar nilai homogenitasnya. Sedangkan kolerasi mengukur linearitas, Kontras bernilai tinggi apabila objek semakin acak dan Energi mengukur tentang keseragaman.

2.4 Metodologi Penelitian

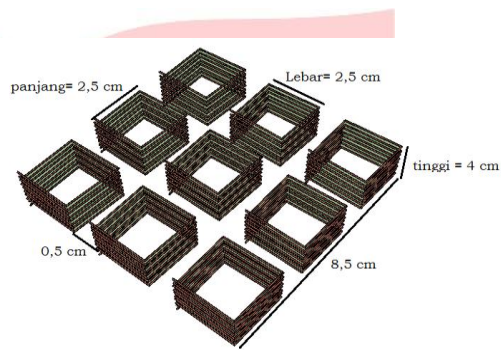
Secara garis besar prosedur penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk membuat sistem koil tunggal dan koil jamak. Setelah itu membuat koil untuk setiap sistem dengan memperhatikan parameter penentu seperti jumlah lilitan untuk masing-masing koil 120 lilitan dan nilai induktansi koil yang seragam.
2. Kemudian dilakukan pengukuran nilai induktansi pada bagian koil untuk sistem koil jamak, jika nilai induktansi setiap bagian koil sama atau hampir mendekati maka dilakukan pematenan posisi pada kedua sistem.
3. Langkah Selanjutnya mengukur distribusi medan magnet untuk kedua sistem pada jarak 1 cm dari ujung koil dengan mengalirkan arus pada kedua sistem tersebut. pengukuran dilakukan di 100 titik untuk setiap sistem.
4. Setelah data distribusi medan magnet diperoleh dilakukan analisis perbandingan homogenitas medan magnet untuk menentukan homogenitas tertinggi pada kedua sistem.

Koil yang digunakan merupakan koil tembaga dengan diameter 0,5 mm dengan jumlah lilitan tiap koil 120 lilitan. Sistem koil tunggal berbentuk persegi dengan ukuran 8,5x8,5 cm2 dengan tinggi koil 4 cm (Gambar 3.3).



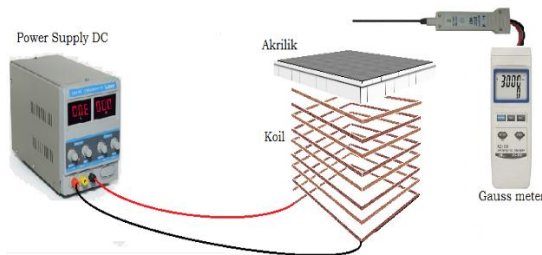
Gambar 3.3 Sistem koil tunggal persegi



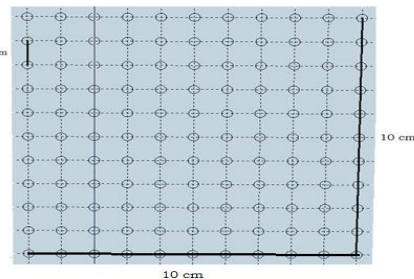
Gambar 3.4 Sistem koil jamak Susun 3x3

Untuk sistem koil jamak berbentuk susun 3x3 dengan ukuran tiap koil 2,5x2,5 cm² (Gambar 3.4) jarak antar koil untuk koil banyak adalah 0,5 cm dan tinggi koil 4 cm.

Adapun metode pengukuran pada penelitian yang dilakukan dapat tergambar pada skema pengukuran yang terlihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Skematik pengukuran



Gambar 3.6 100 titik pengujian pada akrilik

Langkah awal yang dilakukan pada metode pengambilan data adalah memberikan input dengan menggunakan tegangan DC pada sistem koil. Akibat adanya arus yang mengalir pada Sistem Koil maka akan terbentuk medan magnet disekitar sistem koil. Pengukuran akan dilakukan pada 100 titik setiap tegangan pengujian menggunakan Gauss meter (Gambar 3.6).

3. Pembahasan

3.1 Hasil pengukuran induktansi dan resistansi

Hasil pengukuran nilai induktansi untuk sistem koil tunggal pada tabel 4.1 menunjukkan angka 1410 μ H, dimana jumlah lilitan dan dimensi sistem ini adalah 120 lilitan dan 8,5x8,5 cm².

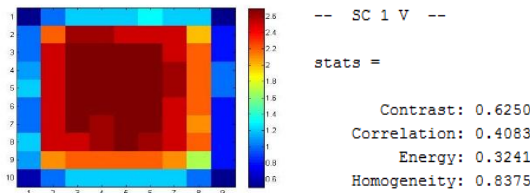
Tabel 4.1 Pengukuran nilai induktasi koil

No.	Sistem koil	Koil	Induktansi μ H
1	Koil tunggal	1	1410,0
2	Koil jamak	1	245,9
		2	250,1
		3	247,2
		4	247,4
		5	249,0
		6	243,4
		7	240,0
		8	244,3
		9	245,3

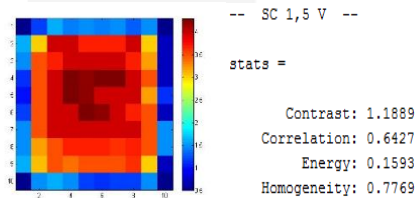
Sedangkan pada sistem koil jamak yang memiliki 9 koil kecil dengan jumlah lilitan tiap koil 120 lilitan dengan dimensi luar 8,5x8,5 cm² terukur nilai induktansi antara range 240- 250,1 μH (tabel 4.1). Untuk nilai resistansi untuk sistem koil tunggal sebesar 4,2 Ω dan untuk sistem koil jamak setiap koil memiliki rata-rata resistansi 1,3 Ω. Sistem koil jamak disusun secara paralel dengan tujuan untuk memperkecil nilai resistansi [8] sehingga dapat mengurangi efek pembebanan saat digunakan. Setelah diparalelkan resistansi koil jamak menjadi 0,2 Ω. Pengukuran menggunakan kabel sebagai penghubung sehingga resistansi bertambah untuk koil tunggal menjadi 5,2 Ω dan koil jamak menjadi 1,2 Ω. Dari hasil pengukuran induktansi dan resistansi pada kedua sistem terlihat banyak perbedaan hal ini dikarenakan panjang kawat yang digunakan pada kedua sistem berbeda meskipun memiliki jumlah lilitan sama yaitu 120 lilitan tiap koil [8].

3.2 Hasil pengukuran medan magnet

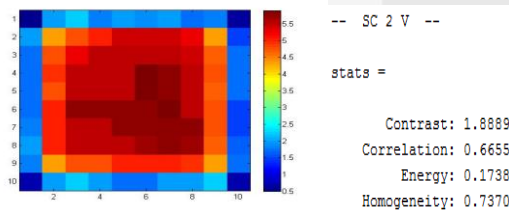
Pada pengukuran medan magnet untuk sistem koil dilakukan dengan arus DC pada tegangan 1V, 1,5 V dan 2 V untuk koil tunggal dan koil jamak. Hasil citra visual sistem koil tunggal dapat dilihat pada gambar 4.2, gambar 4.3 dan gambar 4.4.



Gambar 3.1 Koil tunggal 1 V

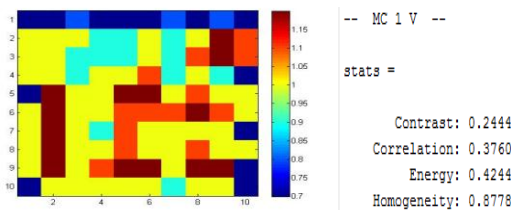


Gambar 3.2 Koil tunggal 1,5 V

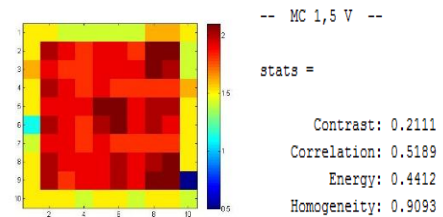


Gambar 3.3 Hasil citra visual sistem koil tunggal 2 V

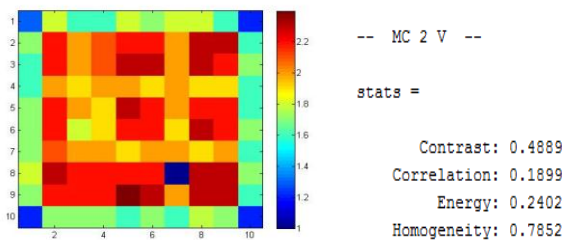
Sedangkan hasil citra visual untuk sistem koil jamak dapat dilihat pada gambar 4.4, gambar 4.5 dan gambar 4.6.



Gambar 3.4 Koil jamak 1 V



Gambar 3.5 Koil jamak 1,5 V



Gambar 3.6 Koil jamak 2 V

Distribusi medan magnet berpusat ditengah [2] dimana nilai homogenitas untuk sistem koil jamak lebih besar untuk setiap tegangan pengukuran, misal pada tegangan 1 V menunjukkan nilai homogenitas 0,8375 untuk koil tunggal dan 0,8778 untuk koil jamak. Untuk tegangan 1,5 V menunjukkan nilai homogenitas 0,7769 untuk sistem koil tunggal dan nilai 0,9093 untuk sistem koil jamak. Dan untuk tegangan 2 V nilai homogenitas pada sistem koil tunggal adalah 0,7370 dan koil jamak 0,7852.

Besar nilai medan magnet pada koil tunggal lebih besar dibandingkan koil jamak. Pada tegangan 1 V menunjukkan nilai medan magnet tertinggi 2,7 G untuk koil tunggal dan 1 G untuk koil jamak. Untuk tegangan 1,5 V menunjukkan nilai medan magnet tertinggi 4,3 G untuk sistem koil jamak dan nilai 1,9 G untuk sistem koil tunggal. Dan untuk tegangan 2 V nilai medan magnet tertinggi pada sistem koil jamak adalah 5,9 G dan koil tunggal 2,3 G. Arus yang mengalir pada bagian koil-koil sistem koil jamak lebih kecil dibandingkan arus yang mengalir pada koil sistem koil tunggal, hal ini dikarenakan sistem koil jamak dirancang paralel untuk semua bagian koil sehingga terjadi pembagian terhadap arus yang masuk menuju sistem koil jamak [8].

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

1. Sistem koil jamak memiliki nilai homogenitas distribusi medan magnet yang lebih tinggi dibandingkan nilai homogenitas distribusi medan magnet koil tunggal untuk setiap tegangan pengukuran. pada tegangan 1 V menunjukkan nilai homogenitas 0,8375 untuk koil tunggal dan 0,8778 untuk koil jamak. Untuk tegangan 1,5 V menunjukkan nilai homogenitas 1 untuk sistem koil jamak dan nilai 0,9093 untuk sistem koil tunggal. Dan untuk tegangan 2 V nilai homogenitas pada sistem koil jamak adalah 0,7370 dan koil tunggal 0,7852.
2. Penggunaan konfigurasi paralel pada sistem koil jamak menghasilkan resistansi yang lebih kecil sehingga mengurangi efek pembebanan saat pengukuran.
3. Sistem koil tunggal menghasilkan nilai medan magnet yang lebih tinggi dibandingkan nilai medan magnet yang dihasilkan sistem koil jamak untuk setiap tegangan inputan. pada tegangan 1 V menunjukkan nilai medan magnet tertinggi 2,7 G untuk koil tunggal dan 1 G untuk koil jamak. Untuk tegangan 1,5 V menunjukkan nilai medan magnet tertinggi 4,3 G untuk sistem koil jamak dan nilai 1,9 G untuk sistem koil tunggal. Dan untuk tegangan 2 V nilai medan magnet tertinggi pada sistem koil jamak adalah 5,9 G dan koil tunggal 2,3 G.

Daftar Pustaka:

- [1]Cartz, Louis (1995). Nondestructive Testing. A S M International. ISBN 978- 0-87170-517-4.
- [2]Darmawan, D. (2015), Study of Induced Current Electrical Impedance Tomography Configurationon 2 Dimensional Rectangular Object, Proc. The 7th ICOPIA International Conference on Physics and Its Applications, vol1.
- [3]Khoirurrijal Tri. (2019), Studi Perbandingan Tingkat Kehomogenan Distribusi Medan Magnet Oleh Kumparan Berdasarkan Bentuk Penampang Kumparan, e-Proceeding of Engineering : Vol.6, No.1.
- [4]Darmawan, D.; Bertanya Fisika Seri Listrik Magnet
- [5]www.mathworks.com, akses 14 mei 2019
- [6]Nithya,R. and Santi, B., 2011, Comparative Study on Feature Extraction Method for Breast Cancer Classification, J. Theoretical and Applied Information Technology, Vol.33 No.2.
- [7]Yustitia P.(2015), Studi Penentuan Konfigurasi Sistem Induksi Pada Induced Current Electrical Impedance Tomography (ICEIT), e-Proceeding of Engineering : Vol.2, No.1
- [8]Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl. Fundamentals of Physics (edisi ke-6th). John Wiley & Sons, Inc. ISBN 9971-51-330-7