

DISTRIBUSI MEDAN MAGNET PADA MULTIKOIL REKTANGULAR SECARA SIMULTAN DENGAN SIMULASI MATLAB

MAGNETIC FIELDS DISTRIBUTION ON RECTANGLE MULTICOIL SIMULTANOUSLY BY MATLAB

Adamita Ruswir¹, Dudi Darmawan², Nurwulan Fitriyanti³

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

¹onlyawir@student.telkomuniversity.ac.id, ²dudidw@telkomuniversity.ac.id,

³nurwulanf@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Identifikasi suatu bahan adalah proses melakukan pengujian untuk menjaga kualitas bahan tersebut. Pengujian tersebut dapat dilakukan dengan metode *Non Destructive Testing* yang mampu mengevaluasi suatu bahan pada objek penelitian tanpa merusak. Pengujian dengan menggunakan metode NDT memiliki beberapa sifat fisika, salah satunya adalah medan magnet. Medan magnet terbentuk karena adanya arus yang menginduksi suatu konduktor penghantar. Pada penelitian sebelumnya, eksperimen dibuat dengan penghantar berbentuk multikoil rektanguler. Kemudian, pada penelitian ini dilakukan simulasi agar dapat dimodifikasi distribusi medan magnetnya. Oleh karena itu, dilakukan pembuatan simulasi medan magnet multikoil rektanguler pada penelitian ini, dengan input variasi 0,2 Ampere, 0,26 Ampere; dan 0,33 Ampere serta variasi jarak pengamatan 0,3 cm; 0,6 cm; dan 1 cm. Variasi lainnya adalah jumlah lilitan sebanyak 120 lilitan, dan diameter kawat 0,5 mm. Medan magnet terbesar terjadi pada parameter arus 0,33 Ampere, jumlah lilitan sebanyak 120 lilitan, diameter kawat 0,5 mm, dan jarak pengamatan 0,3 cm dengan besarnya medan magnet yaitu 0,1 Gauss sampai 4 Gauss. Sedangkan, simulasi besar medan magnet yaitu 1,180 Gauss sampai 1,194 Gauss. Perbedaan besarnya medan magnet dipengaruhi faktor eksternal pada pengukuran secara eksperimen.

Kata Kunci : *NDT, multikoil rektanguler, distribusi medan magnet*

Abstract

The identification of a material is the process of conducting tests to maintain the quality of the material. This test can be done with the Non Destructive Testing method which can evaluate the material on the object of research without damaging it. Testing using the NDT method has several physical properties, one of which is a magnetic field. The magnetic field is formed due to a current that induces a conducting conductor. In the previous research, the experiment was made with a rectangular multicellular conveyor. Then, in this research, a simulation was carried out to modify the distribution of the magnetic field. Therefore, a rectangular multi coil magnetic field simulation was made in this study, with input variations of 0.2 Ampere, 0.26 Ampere; and 0.33 Ampere as well as a variation of the observation distance of 0.3 cm; 0.6 cm; and 1 cm. Another variation is the number of turns of 120 turns, and the wire diameter of 0.5 mm. The largest magnetic field occurs in the current parameter of 0.33 Ampere, the number of turns of 120 turns, 0.5 mm of wire diameter, and 0.3 cm of observation distance with the magnitude of the magnetic field, namely 0.1 Gauss to 4 Gauss. Meanwhile, the simulation magnitude of the magnetic field is 1.180 Gauss to 1.194 Gauss. The difference in the magnitude of the magnetic field is influenced by external factors in experimental measurements.

Keywords: *NDT, multicoil rectangular, magnetic field distribution*

1. Pendahuluan

Metode *Non Destructive Testing* (NDT) merupakan pengujian yang dapat dilakukan tanpa merusak untuk menjaga kualitas suatu objek. Metode ini telah memiliki kemampuan yang sensitif dan andal dalam menjawab kebutuhan kerusakan struktural dan keamanan produk. Metode NDT ini dapat menunjukkan kehomogenan sifat magnetik pada suatu bahan dengan menggunakan hukum biot-savart.

Eksperimen yang telah dilakukan memiliki keterbatasan dalam mengubah spesifikasi koil agar sesuai dengan kebutuhan. Keterbatasan tersebut dapat diatasi dengan membuat suatu simulasi medan magnet pada suatu koil sesuai dengan metode dan hasil perhitungan secara eksperimen. Aplikasi simulasi yang digunakan pada bahasan ini yaitu MATLAB sebuah bahasa pemrograman yang dapat difungsikan untuk saling berintegrasi antara visualisasi, komputasi, dan pemrograman.

Penelitian ini menggunakan multikoil dengan bentuk rektanguler secara simultan pada objek. Kemudian, akan dilakukan simulasi sebagai modifikasi koil sebagai evaluasi kehomogenan medan magnet pada multikoil rektanguler. Formulasi medan magnet dengan bentuk rektanguler pada perhitungan medan magnet dapat diintegrasikan dengan beberapa fungsi pada MATLAB. Oleh karena itu, penelitian ini membuat simulasi dengan MATLAB dapat membantu dalam memprediksi perhitungan dan kehomogenan multikoil rektanguler yang dapat dimodifikasi serta memberikan hasil pencitraan distribusi medan magnet pada objek tersebut.

2. Metode Penelitian

2.1 Hukum Biot-Savart

Hukum ini digunakan dalam menentukan medan magnet (\vec{B}) terhadap titik (P) pada kawat. Biot-Savart menyatakan bahwa medan magnet berbanding lurus dengan arus listrik, panjang elemen kawat pengantar, dan sinus sudut antara jarak ketitik P terhadap elemen kawat. Maka, hukum biot-savart secara matematis adalah [11]

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2} \quad (2.1)$$

Dimana

$d\vec{B}$ = Vektor medan magnet (Tesla)

r = Jarak titik P terhadap elemen kawat (meter)

μ_0 = Permeabilitas hampa udara yang besarnya $4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am

$d\vec{l}$ = Vektor panjang elemen kawat (meter)

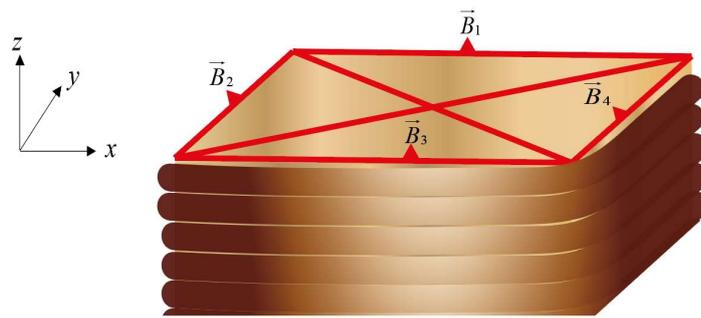
i = Arus pada koil (ampere)

Berdasarkan dengan persamaan (2.1), dengan $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$, maka besarnya medan magnet pada satu sisi kawat penghantar berdasarkan hukum Biot-Savart, yaitu

$$\begin{aligned} \vec{B} &= \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{\hat{i} dx + \hat{j} dy + \hat{k} dz}{r^2} \times \frac{\vec{r}}{r} \\ d\vec{B} &= \frac{\mu_0 i}{4\pi} \left[\frac{(zdy - ydz)\hat{i} + (xdz - zdx)\hat{j} + (ydx - xdy)\hat{k}}{r^3} \right] \\ \vec{B} &= \frac{\mu_0 i}{4\pi} \int_0^L \frac{(zdy - ydz)}{r^3} \hat{i} + \frac{(xdz - zdx)}{r^3} \hat{j} + \frac{(ydx - xdy)}{r^3} \hat{k} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Pada penelitian sebelumnya, medan magnet pada koil rektanguler dapat ditentukan dengan menjumlahkan keempat sisi setiap koil [4]. Berdasarkan persamaan (2.2) dan posisi medan magnet pada gambar (2.2), maka didapatkan persamaan ke dalam bentuk koil empat sisi atau rektanguler yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \vec{B}_{Total} &= \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \vec{B}_4 \\ \vec{B}_{Total} &= \sum_1^4 \frac{\mu_0 i}{4\pi} \int_0^L \frac{(zdy - ydz)}{r^3} \hat{i} + \frac{(xdz - zdx)}{r^3} \hat{j} + \frac{(ydx - xdy)}{r^3} \hat{k} \end{aligned} \quad (2.3)$$

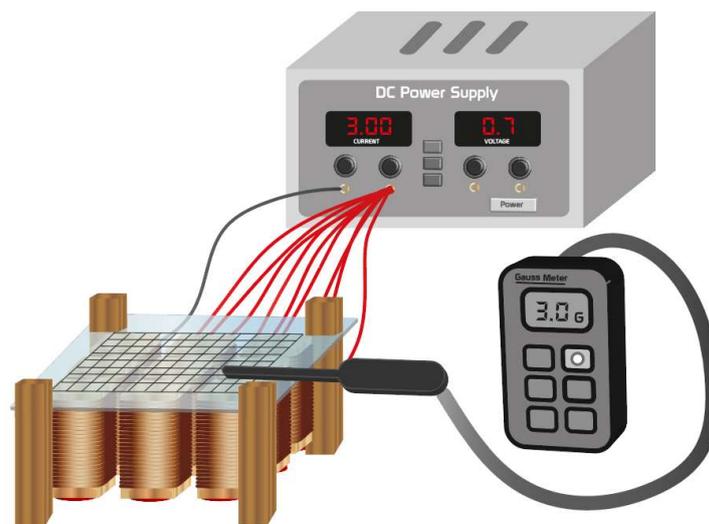


Gambar 2.1 Medan magnet pada 4 sisi koil rektangular

2.2 Konfigurasi Alat dan Simulasi

Pada pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan alat eksperimen dengan spesifikasi sebagai berikut [7] :

- Menggunakan solenoida tembaga dengan diameter 0,5 mm.
- Jumlah lilitan yang digunakan adalah 120 lilitan untuk setiap koil.
- Koil berbentuk kotak berukuran 3cm x 3cm dengan tinggi 4cm.
- Koil bersusun 9 koil membentuk susunan multikoil.
- Segmen pengamatan objek uji sejumlah 100 titik.



Gambar 2.2 Konfigurasi alat pengukuran

Tahapan umum dibagi dua yaitu perancangan simulasi pada MATLAB dan melakukan pengukuran pada eksperimen distribusi medan magnet multikoil rektangular sebagai validasi yang dilakukan dengan tahapan yaitu pengambilan data medan magnet pada 100 titik uji pada multikoil rektangular (Gambar 2.1) dengan variasi nilai parameter arus, tegangan, dan jarak pengamatan. Menentukan parameter fisis yang ada pada alat eksperimen, dengan pembuatan simulasi algoritma pemrograman pada MATLAB disesuaikan dengan parameter fisis pada alat eksperimen. Mensimulasikan program tersebut dengan menghasilkan output berupa data dan gambar pencitraan serta homogenitas pada multikoil rektangular Hasil pengukuran pada eksperimen dan simulasi akan dilakukan perbandingan data medan magnet dan homogenitas.

Pengukuran pada multikoil rektangular dengan setiap koil mempunyai spesifikasi 40 lilitan dengan ukuran penampang koil 2,5 cm x 2,5 cm serta papan titik uji terbuat dari akrilik sebagai bahan yang akan diukur pada setiap titik, dengan dimensi pengukuran 10x10. Kemudian langkah selanjutnya dilakukan pengambilan data pengukuran pada setiap dimensi pengukuran tersebut. Kemudian, membuat simulasi distribusi medan magnet dengan multikoil rektangular pada MATLAB, dengan memetakan *input* yaitu jumlah lilitan, jumlah koil, arus,

tegangan, segmen pengamatan, diameter kawat, jarak pengamatan dan *output* berupa data dan pencitraan dari hasil distribusi medan magnet tersebut.

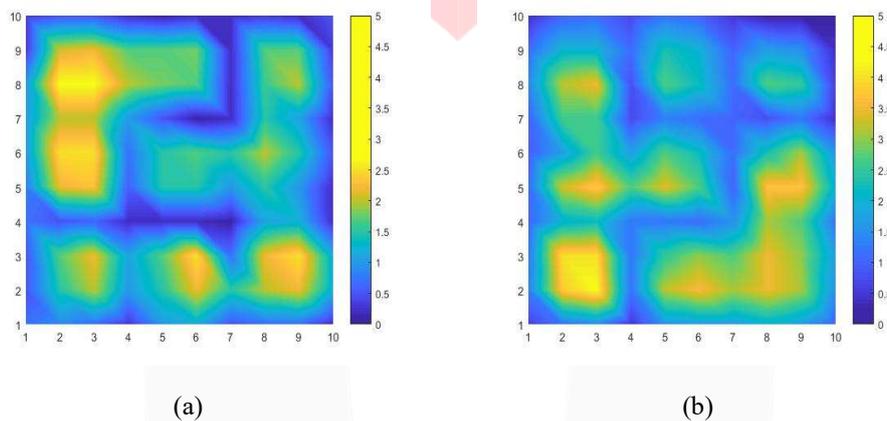
Hasil simulasi yang sudah dibuat kemudian akan dibandingkan dengan data pengukuran yang diambil pada eksperimen sebagai validasi data. Hasil dari validasi tersebut dapat dianalisis perbandingan hasil dari kedua data tersebut. Data pengukuran adalah kehomogenan medan magnet pada multikoil rektangular, nantinya data kehomogenan tersebut berupa gambar pencitraan dari hasil pengukuran dan simulasi. Kemudian hasil yang didapat lalu dilakukan analisis kesesuaian homogenitas dalam penelitian distribusi medan pada multikoil rektangular.

3. Pembahasan

Rancangan sistem secara umum dilakukan pengukuran secara alat eksperimen, pembuatan simulasi pengukuran medan magnet dan analisis. Pengukuran medan magnet ini dilakukan induksi arus secara serial dan pengukuran secara simultan antara alat eksperimen terhadap objek. Pengukuran dilakukan dengan beberapa variasi, yaitu sampel diantaranya meliputi perbedaan parameter arus 0,2 Ampere dan 0,33 Ampere, dan jarak pengamatan 0,3 cm, 0,6 cm, dan 1 cm.

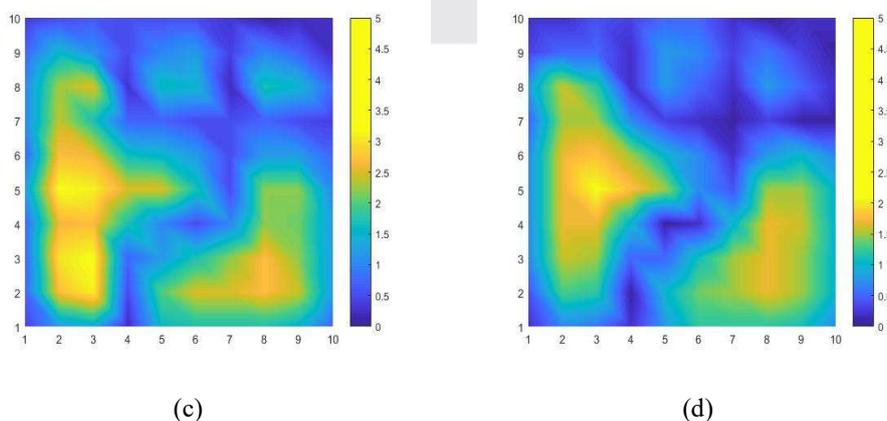
3.1 Hasil Pengukuran Medan Magnet Pada Alat Eksperimen

Percobaan ini membuat sampel pada variasi paramter arus pada 0,2 Ampere dan 0,33 Ampere pada setiap coil dan Variasi pada alat eksperimen selanjutnya adalah membuat variasi dengan perubahan paramter jarak pengamatan pada 0,6 cm dan 1 cm pada setiap alat eksperimen terhadap penampang ukurnya. Sedangkan, paramter pendukungnya bernilai tetap yaitu Jumlah lilitan adalah 120 Lilitan, Diameter kawat sebesar 0,5 cm. Parameter yang dibuat tetap merupakan percobaan dengan variasi arus agar keluaran medan magnet lebih optimal.



Gambar 3.2 (a) Variasi arus 0,2 Ampere, (b) Variasi arus 0,33 Ampere

Gambar (a) memiliki variasi arus sebesar 0,2 Ampere, parameter pendukungnya bernilai tetap yaitu jumlah lilitan adalah 120 lilitan, diameter kawat sebesar 0,5 cm, dan jarak pengamatan 0,3 cm. Medan magnet tertinggi sebesar 2,5 Gauss dan terendah sebesar 0,1 Gauss. Variasi ini memiliki homogenitas sebesar 0,9870. Gambar (b) memiliki input arus sebesar 0,33 Ampere, parameter lainnya yaitu Jumlah lilitan adalah 120 Lilitan, diameter



Gambar 3.3 (c) Variasi jarak pengamatan 0,6 cm, (d) Variasi jarak pengamatan 1 cm

kawat sebesar 0,5 cm, dan jarak pengamatan 0,3 cm. Medan magnet tertinggi sebesar 4 Gauss dan terendah sebesar 0,5 Gauss. Variasi ini memiliki homogenitas sebesar 0,9882, dimana nilai homogenitas lebih besar dan memiliki keluaran medan magnet lebih besar dibandingkan dengan variasi arus 0,2 Ampere.

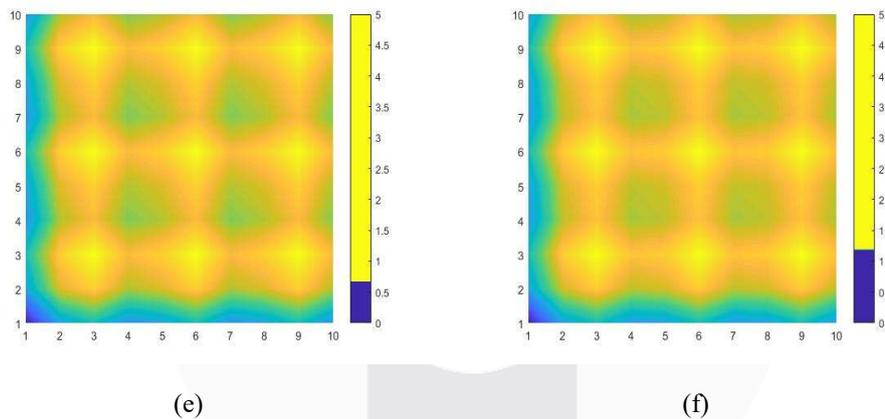
Pada gambar (c) memiliki variasi jarak pengamatan sebesar 0,6 cm, parameter pendukungnya bernilai tetap yaitu jumlah lilitan adalah 120 lilitan, diameter kawat sebesar 0,5 cm, dan arus bernilai 0,33 Ampere. Medan magnet tertinggi sebesar 3 Gauss dan terendah sebesar 0,1 Gauss. Variasi ini memiliki homogenitas sebesar 0,9865. Sedangkan, gambar (d) ini terdapat variasi jarak pengamatan sebesar 1 cm, sedangkan parameter lainnya yaitu jumlah lilitan adalah 120 lilitan, diameter kawat sebesar 0,5 cm, dan arus yang bernilai 0,33 Ampere. Medan magnet tertinggi sebesar 2 Gauss dan terendah sebesar 0,1 Gauss. Homogenitas pada pengukuran ini sebesar 0,9870.

3.2. Hasil Pengukuran Medan Magnet Pada Simulasi

Pada simulasi ini, medan magnet dapat dilakukan dengan 9 koil berbentuk rektangular. Simulasi yang dibuat memberikan pengukuran menyerupai kondisi sesuai dengan alat pada eksperimen. Pengukuran dilakukan dengan mendapat 10x10 data medan magnet menyerupai jumlah titik pengukuran pada penampang ukur secara eksperimen.

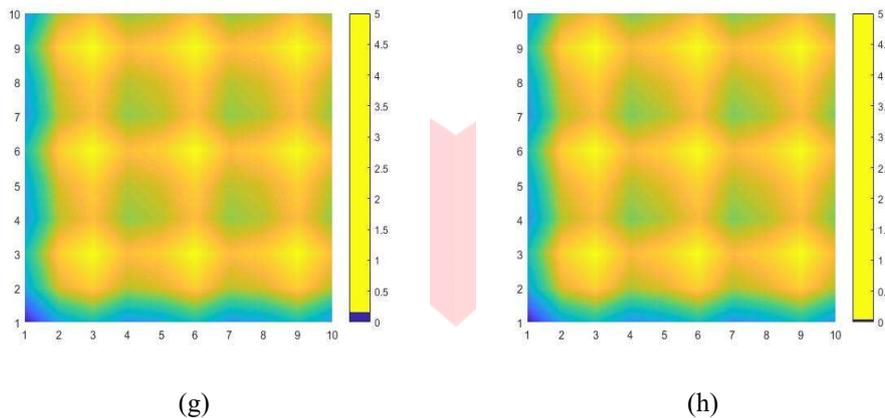
Variasi yang dapat dilakukan simulasi dapat dilakukan dengan perubahan empat parameter yaitu arus jumlah lilitan, diameter kawat, dan jarak pengamatan. Tetapi, hasil pengukuran simulasi ini dilakukan dengan parameter yang sama dengan pengukuran secara eksperimen dan diberikan hasil penyebaran visualisasi medan magnet yang terjadi dengan bantuan fungsi yang ada pada MATLAB.

Pada simulasi ini mengukur medan magnet dengan variasi parameter arus 0,2 Ampere dan 0,33 Ampere dan variasi jarak pengamatan pada 0,6 cm dan 1 cm pada setiap alat eksperimen terhadap penampang ukurnya. Parameter pendukung bernilai sama yaitu jumlah lilitan adalah 120 Lilitan, diameter kawat sebesar 0,5 cm, dan arus bernilai 0,33 Ampere. Pada parameter pendukung ini variasi juga dilakukan agar keluaran medan magnet yang lebih optimal pada pengukuran ini dan sesuai dengan keadaan pengukuran pada alat eksperimen.



Gambar 3.4 (e) Variasi arus 0,2 Ampere, (f) Variasi arus 0,33 Ampere

Gambar (e) memiliki variasi arus sebesar 0,2 Ampere, parameter pendukungnya bernilai tetap yaitu jumlah lilitan adalah 120 lilitan, diameter kawat sebesar 0,5 cm, dan jarak pengamatan 0,3 cm. Medan magnet tertinggi sebesar 0,672 Gauss dan terendah sebesar 0,665 Gauss. Variasi ini memiliki homogenitas sebesar 0,9895. Sedangkan, gambar (f) memiliki input arus sebesar 0,33 Ampere, parameter lainnya yaitu Jumlah lilitan adalah 120 Lilitan, diameter kawat sebesar 0,5 cm, dan jarak pengamatan 0,3 cm. Medan magnet tertinggi sebesar 1,194 Gauss dan terendah sebesar 1,180 Gauss. Variasi ini memiliki homogenitas sebesar 0,9901, dimana nilai homogenitas lebih besar dan memiliki keluaran medan magnet lebih besar dibandingkan dengan variasi arus 0,2 Ampere.



Gambar 3.5 (a) Variasi jarak pengamatan 0,6 cm, (b) (a) Variasi jarak pengamatan 1 cm

Gambar (g) menunjukkan bahwa seolah pengukuran memiliki variasi jarak pengamatan sebesar 0,6 cm, dan parameter pendukungnya bernilai sama yaitu jumlah lilitan adalah 120 lilitan, diameter kawat sebesar 0,5 cm, dan arus bernilai 0,33 Ampere. Medan magnet tertinggi sebesar 0,1616 Gauss dan terendah sebesar 0,1613 Gauss. Variasi ini memiliki homogenitas sebesar 0,9897. Sedangkan, gambar (h) ini terdapat variasi jarak pengamatan sebesar 1 cm, sedangkan parameter lainnya yaitu Jumlah lilitan adalah 120 Lilitan, diameter kawat sebesar 0,5 cm, dan arus yang bernilai 0,33 Ampere. Medan magnet tertinggi sebesar 0,039105 Gauss dan terendah sebesar 0,039075 Gauss. Homogenitas pada pengukuran ini sebesar 0,9894. Secara simulasi pun, jika dibandingkan dengan jarak pengamatan 0,6 cm menyebabkan homogenitas lebih kecil karena perbedaan selisih jarak sebesar 0,4 cm.

3.3. Analisis Perbandingan Pengukuran Medan Magnet

Berdasarkan pada pengukuran yang telah dilakukan didapatkan bahwa besar medan magnet dipengaruhi oleh perubahan 4 parameter yaitu arus, diameter pada kawat, jumlah lilitan, dan jarak pengamatan secara alat eksperimen serta simulasi di MATLAB. Pada parameter tersebut, dibuatlah variasi arus dan jarak pengamatan dengan parameter pendukung yang tetap yaitu jumlah lilitan dan diameter kawat, menjadi sampel perubahan medan magnet yang dapat mewakili pengukuran yang lebih optimal pada penelitian ini. Pengoptimalan pada penelitian ini diambil sampel dengan variasi arus (0,2 Ampere dan 0,33 Ampere) dan jarak pengamatan (0,6 cm dan 1 cm) telah dilakukan pengukuran secara alat eksperimen dan simulasi, dengan parameter pendukung pada sampel tersebut yaitu jumlah lilitan sebanyak 120 lilitan dan diameter kawat sebesar 0,5 mm, dapat mempengaruhi besar medan magnet.

Dalam keadaan parameter pendukung yang tetap dan jarak pengamatan 0,3 cm, didapatkan bahwa variasi arus sebesar 0,2 Ampere memiliki medan magnet yang lebih kecil yaitu medan magnet tertinggi sebesar 2,5 Gauss dan terendah sebesar 0,1 Gauss, sedangkan dengan arus 0,33 Ampere memiliki range medan magnet yang lebih besar yaitu mulai dari 4 Gauss sampai 0,5 Gauss. Kemudian, variasi jarak pengamatan juga menyebabkan perubahan yang berbanding terbalik dengan medan magnet. Pada kondisi parameter pendukung yang tetap dan arus 0,33 Ampere, didapatkan hasil yaitu dengan jarak pengamatan 0,6 cm memiliki medan magnet yang lebih besar dengan range tertinggi sebesar 3 Gauss sampai 0,1 Gauss, daripada dengan jarak pengamatan 1 cm memiliki range medan

magnet yang lebih kecil dengan *range* tertinggi sebesar 2 Gauss dan terendah sebesar 0,1 Gauss. Dalam penelitian ini, homogenitas yang terbesar terjadi pada parameter arus sebesar 0,33 Ampere, Jumlah lilitan sebanyak 120 cm, diameter 0,5 cm, dan jarak pengamatan 0,3 cm dengan nilai 0,9541. Sedangkan yang terkecil 0,9514.

Secara simulasi pengukuran medan magnet dapat dilakukan dengan perubahan parameter yang cukup signifikan. Jika dibandingkan dengan parameter 0,33 Ampere dan Jarak pengamatan 1 cm yang memiliki besar medan magnet acuan 0,039075 Gauss sampai 0,039105 Gauss dan homogenitas sebesar 0,9514. Variasi lain dapat dilakukan, yaitu pada arus sebesar 3 ampere dan jarak pengamatan 1 cm memiliki besar medan magnet 0,7168 Gauss sampai 0,7178 Gauss dan homogenitas sebesar 0,955, menunjukkan adanya peningkatan nilai arus dan homogenitas yang lebih besar dibanding dengan pengukuran dengan besarnya jarak pengamatan yang sama pada acuan tersebut. Sedangkan, percobaan lain dengan jarak pengamatan juga dapat diubah sampai 0,01 cm dengan arus 0,33 ampere memiliki homogenitas sebesar 0,9584 yang memiliki nilai yang lebih besar karena jarak yang lebih dekat dengan arus yang tetap. Jika arus tetap pada 0,33 ampere dan jarak pengamatan ditambah menjadi 3 cm nilai medan magnet sebesar 0,0215 Gauss sampai 0,0216 Gauss, maka besar medan magnet pun semakin kecil dari acuan. Ini dapat menjelaskan bahwa berubahnya parameter secara simulasi dapat berpengaruh terhadap perubahan medan magnet dan homogenitas.

Pada pengukuran ini terjadi perbedaan besar nilai medan magnet dan homogenitas secara pengukuran pada alat eksperimen dengan simulasi, hal itu terjadi karena adanya faktor eksternal pada saat pengukuran alat eksperimen yang berada di sekitar perangkat lain yang memiliki medan magnet menjadi berpengaruh terhadap medan magnet pada alat eksperimen [11], dan perubahan suhu pada suatu bahan menyebabkan kejenuhan medan magnet pada suhu yang semakin tinggi [12]. Pengaruh tersebut juga berdampak terhadap penyebaran medan magnet pada pengukuran ini. Sedangkan, pada simulasi dikondisikan keadaan ideal tanpa adanya pengaruh eksternal dan penyebaran medan magnet secara simulasi lebih merata dibanding dengan alat eksperimen.

Tabel 3. 1 Validasi Pengukuran

Variasi		Korelasi
Arus (A)	Jarak Pengamatan (cm)	
0.2	0.3	0.440476
0.33	0.3	0.471749
0.33	0.6	0.386812
0.33	1	0.232532

Pada variasi yang telah dilakukan pada alat eksperimen dan simulasi, dilakukan validasi seperti pada tabel 4.1. Validasi diambil dengan analisis metode korelasi *Pearson* yang mampu menyatakan hubungan antar dua variabel data, dengan besar hubungannya antara 0-1. Serta, dapat bernilai (+) yang berarti memiliki hubungan searah, dan negatif (-) jika memiliki hubungan yang berbalik [14]. Kekuatan hubungan korelasi sebagai berikut :

- 0 : Tidak ada korelasi
- 0.00 - 0.25 : Korelasi sangat lemah
- 0.25 - 0.50 : Korelasi cukup
- 0.50 - 0.75 : Korelasi kuat
- 0.75 - 0.99 : Korelasi sangat kuat
- 1 : Korelasi Sempurna

Perubahan pada variasi antara arus dan jarak pengamatan secara eksperimen dan simulasi mempengaruhi nilai hubungan korelasinya. Hubungan ini dapat memberikan informasi bahwa nilai medan magnet secara alat eksperimen dan simulasi pada penelitian ini memiliki korelasi terendahnya adalah sangat lemah dan terbaiknya mencapai korelasi yang cukup.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pengukuran yang telah dilakukan pada sistem multi koil rektanguler secara eksperimen dan simulasi, dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan penelitian ini, dapat dilakukan simulasi untuk mengetahui distribusi medan magnet multikoil rektanguler dengan parameter arus, diameter kawat, jumlah lilitan, dan jarak pengamatan.
2. Pada penelitian ini homogenitas tertinggi terjadi pada variasi 0,33 A dan jarak pengamatan 0,3 cm yaitu 0,9541 pada simulasi dan 0,9444 pada eksperimen. Pada kondisi ideal homogenitas pada simulasi memiliki nilai yang lebih besar dan distribusi merata, jika dibandingkan pengukuran alat eksperimen

dengan kondisi rill. Pada penelitian ini, memberikan bahwa homogenitas tidak dapat menunjukkan perbedaan jika *range* antara variasi tidak signifikan.

Daftar Pustaka:

- [1] J. Blitz, Electrical and Magnetic Methods of Non-destructive Testing Second Edition. Springer : Brunel University, 1997.
- [2] J. Helal, M. Sofi, P. Mendis. Non-Destructive Testing of Concrete: A Review of Methods. Australia : University of Melbourne, 2015.
- [3] R.K Stanley, Nondestructive Testing Handbook 9: Special Nondestructive Testing Methods. Columbus: American Society of Nondestructive Testing, 1995.
- [4] F.M. Palebangan, Analisis Distribusi Medan Magnet Koil Tunggal Dan Koil Jamak Secara Eksperimen. Tugas Akhir, Bandung : Telkom University, 2019.
- [5] D. Darmawan, Study of Induced Current Electrical Impedance Tomography Configuration on 2 Dimensional Rectangular Object, Vol 1, Proc. The 7th ICOPIA International Conference on Physics and Its Applications, 2015.
- [6] K.D. Sudharma, Sudarti, R.D. Handayani, "Distribusi Medan Magnet Pada Solenoid". Jember : UNEJ, 2016.
- [7] A.L.B. Amir, Studi Karakterisasi Sistem Induced Current Electrical Impedance Tomograph (ICEIT) Pada Distribusi Serbuk Besi Dalam Tanah. Tugas Akhir, Bandung : Telkom University, 2019
- [8] K.T Novianto, D. Darmawan, Suprayogi, Bentuk Penampang Kumparan Studi Perbandingan Tingkat Kehomogenan Distribusi Medan Magnet Oleh Kumparan. Bandung : Telkom University, 2019
- [9] Abbas, Wahidin, Aplikasi dan Pemrograman MATLAB. Yogyakarta : Deepublish, 2013.
- [10] G.A Away, The Shortcut of MATLAB Programming. Bandung : Informatika Bandung, 2010.
- [11] Sutrisno, T.I Gie, Fisika Dasar : listrik, magnet, dan termofisika, Bandung : ITB, 1979.
- [12] J. SMIT, H. P. J. WIJN, Ferrites, : International edn (Tokyo Electrical Engineering College Press Ch.8), Tokyo, 1965.
- [13] Y. Aharonov, D. Bohm, Significance of Electromagnetic Potentials in the Quantum Theory, England, 1959.
- [14] J. Sarwono, H.N. Salim. Prosedur-Prosedur Populer Statistik Untuk Analisis Data Riset Skripsi. Yogyakarta : Gava Media, 2017.