SIMULASI DISTRIBUSI MEDAN MAGNET PADA KOIL *RECTANGULAR*

SIMULATION OF MAGNETIC FIELD DISTRIBUTION IN RECTANGULAR COILS

Sevtiani N sianaga[1], Dudi Darmawan[2], Suprayogi [3]
1,2,3 Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom
1**Sinagasevtiani@student.telkomuniversity.ac.id**, 2**Dudiddw@telkomuniversity.ac.id**,
3**suprayogi@telkomuniversity.ac.id**

Abstrak

***Non Destructive Testing (NDT)* merupakan salah satu metode dalam penginspeksian. Dalam kegiatan inspeksi dengan metode NDT digunakan metode *Eddy Curent Testing* yang memanfaatkan medan magnet yang timbul pada koil yang diberi arus. Oleh karena itu koil yang dibutuhkan merupakan koil yang dapat menghasilkan medan magnet yang homogen agar dapat menginduksi area inspeksi secara merata. Selama ini desain koil, secara eksperimen, dilakukan secara coba-coba dengan variasi parameter koil yang terbatas. Diperlukan penentuan parameter koil yang dapat menghasilkan medan magnet homogen sebelum implementasi pembuatan koil yang sebenarnya. Oleh karena itu dibutuhkan simulasi perhitungan medan magnet dengan parameter koil yang dapat diatur. Simulasi yang akan dibuat menggunakan Matlab R2017a dengan Hukum Biot-Savart pada koil rectangular dan hasil dari program Matlab R2017a akan diintegrasikan pada *GUI (Graphical User Interface)*. Simulasi yang dibuat akan divalidasi menggunakan data eksperimen dengan variasi diameter, arus, banyaknya lilitan dan variasi koordinat. Hasil simulasi menunjukkan kesamaan pola terhadap hasil eksperimen dimana titik medan magnet terbesar ada pada pusat koil.**

Kata Kunci : *Non Distructive Testing, Eddy Current*, Medan Magnet, Koil *Rectangular*, Hukum Biot-Savart, Simulasi Matlab R2017a.

Abstract

Non Destructive Testing (NDT) is one of the methods in inspection. In the inspection activities the NDT method is used the Eddy Curent Testing method which utilizes a magnetic field that arises in the coil that is given a current. Therefore, the coil needed is a coil that can produce homogeneous magnetic fields so as to induce the inspection area evenly. So far, the coil design has been experimented experimentally with a limited variation of coil parameters. Required determination of coil parameters that can produce a homogeneous magnetic field before the actual implementation of coil making. Therefore we need a simulation of magnetic field calculations with adjustable coil parameters. The simulation will be made using Matlab R2017a with Biot-Savart Law on a rectangular coil and the results of the Matlab R2017a program will be integrated into the GUI (Graphical User Interface). The simulation will be validated using experimental data with variations in diameter, current, number of turns and variations in coordinates. The simulation results show the similarity of patterns to the experimental results where the largest magnetic field point is at the center of the coil.

Keywords: Non Distructive Testing, Eddy Current, Magnetic Field, Rectangular Coil, Biot-Savart Law, R2017a Matlab Simulation.

1. Pendahuluan

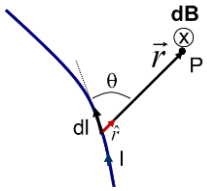
Inspeksi merupakan kegiatan yang rutin dilakukan dalam bidang industri. Salah satu metode dalam kegiatan tersebut dengan Non Destructive Testing (NDT). Dalam kegiatan inspeksi dengan metode NDT digunakan metode Eddy Curent Testing yang memanfaatkan medan magnet yang timbul pada koil yang diberi arus. Oleh karena itu koil yang dibutuhkan merupakan koil yang dapat menghasilkan medan magnet yang homogen agar dapat menginduksi area inspeksi secara merata. . Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan penelitian tentang distribusi medan magnet pada koil berbentuk rectangular dan silinder, dimana hasil daripada penelitian tersebut didapatkan distribusi medan magnet yang homegen pada koil berbentuk rectangular. Namun pada penelitian sebelumnya ukuran koil yang dipakai sama dengan ukuran segmen pengamatannya [1]. Oleh karena itu penelitian tersebut memiliki kekurangan dikarenakan tidak dapat membuktikan distribusi medan magnet saat koil memiliki ukuran lebih kecil daripada segmen pengamatan. Setelah penelitian tersebut terdapat penelitian distribusi medan magnet menggunakan koil berbentuk rectangular multikoil guna menghasilkan distribusi medan magnet yang lebih homogen dan dapat mencakup titik pengukuran luas sehingga pengukuran objek dapat dilakukan bersamaan dibanyak titik tertentu

[2], akan tetapi pada penelitian tersebut memiliki kekurangan dikarenakan tidak dapat membuktikan distribusi medan magnet di koordinat sembarang pada segmen pengamatan. Selama ini desain koil, secara eksperimen, dilakukan secara coba-coba dengan variasi parameter koil yang terbatas. Diperlukan penentuan parameter koil yang dapat menghasilkan medan magnet homogen sebelum implementasi pembuatan koil yang sebenarnya. Oleh karena itu dibutuhkan simulasi perhitungan medan magnet dengan parameter koil yang dapat diatur. Simulasi yang akan dibuat menggunakan Matlab R2017a dengan Hukum Biot-Savart pada koil rectangular dan hasil dari program Matlab R2017a akan diintegrasikan pada fitur yang ada pada matlab yaitu GUI (Graphical User Interface). Pengintegrasian program matlab kedalam GUI dilakukan agar simulasi dapat diubah variabel arus, jarak pengamatan, panjang koil, panjang segmen pengamatan, jumlah lilitan dan kordinat distribusi medan magnet sehingga dalam penggunaan simulasi lebih mudah dalam menginputkan data yang akan disimulasikan. Simulasi yang dibuat akan divalidasi menggunakan data eksperimen dengan variasi diameter kawat 0.8 mm dan 0.7[3] mm pada koil 120 lilitan, variasi arus pada koil 120 yaitu 0.27 A, 0.36 A dan 0.46 dan variasi titik koordinat dimana titik tengah koil diletakan pada koordinat (3.3), (3.5), (3,8) (5.5) , (8.3) (8.6) dan (8.8).

2. Dasar Teori

2.1 Hukum Biot-Savart

Hukum Biot-Savart dinyatakan oleh Jeans Baptiste Biot (1774-1862) dan Felix Savart (1791-1841) sesaat setelah ersted menemukan fenomena arus listrik dapat menghasilkan medan magnet.
Hukum Biot-Savart digunakan untuk menghitung medan magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik [3].



Gambar 2. 1 Hukum Biot-Savart.

Besar medan magnet di titik P akibat seluruh panjang kawat yang berarus I tersebut didaptkan dengan

$$\vec{B} = \int d\vec{B} = \int \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{d\vec{l} x \hat{r}}{r^2}. \qquad \text{.....(1)}$$

dimana

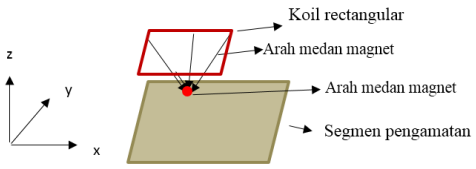
$\vec{B}$ = Vektor Induksi Medan Magnet (Wb/m^2)

μ_0 = Permeabilitas Udara ($4\pi \times 10^{-7}\, Wb/A.m$)

I = Arus Pada Koil (Arus)

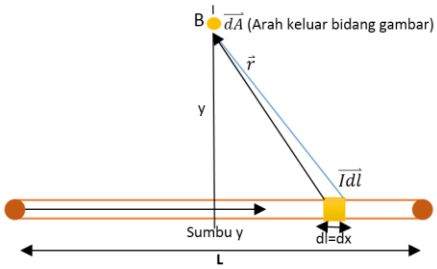
$\overrightarrow{dl}$ = Vektor Elemen Panjang Kawat Koil

r = Jarak ke Elemen Panjang Kawat (meter)



Gambar 2.2 Koil rectangular diatas permukaa

2.2 Medan Magnet Pada n Sisi Penghantar



Berdasarkan Hukum Biot-Savart pada persamaan diatas, didapatkan maka besarnya Medan magnet oleh satu segmen penghantar berarus adalah [7]

$$\overrightarrow{dB_1} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{\overrightarrow{dl}\times\hat{r}}{r^2} = KI\,\frac{dx\hat{i}+dy\,j+dzk}{r^2}\times\frac{\vec{r}}{r^2}$$

$$\overrightarrow{dB_1} = KI\,\frac{dx\hat{i}+dy\,j+dzk}{r^3}\times\left(x\hat{i}+y\,j+zk\right)$$

$$\overrightarrow{dB_1} = \frac{KI}{r^3}\left[\left(zdy-ydz\right)\hat{i}+\left(xdz-zdx\right)j+\left(ydx-xdy\right)k\right]$$

Diasumsikan $K=\frac{\mu_0 I}{4\pi}$ dan $r=\sqrt{x^2+y^2+z^2}$

Sehingga didapatkan Besar Medan Magnet oleh suatu segmen penghantar berarus adalah :

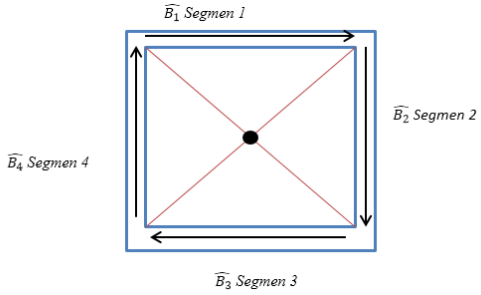
$$\overrightarrow{Bsegmen_1} = KI\int_0^L\left[\left(\frac{zdy-ydz}{r^3}\right)\hat{i}+\left(\frac{xdz-zdx}{r^3}\right)j+\left(\frac{ydx-xdy}{r^3}\right)k\right] \text{..... (4)}$$

Sehingga persamaan untuk besar medan magnet dengan n sisi adalah

$$\overrightarrow{B_{n\,segmen}} = \overrightarrow{B_1}+\overrightarrow{B_2}+\overrightarrow{B_3}+\overrightarrow{B_4}+\text{.....}+\overrightarrow{B_n}\text{.....(5)}$$

2.3 Medan Magnet Pada Koil Rectangular

Dari persamaan diatas maka didapatkan persamaan medan magnet pada koil rectangular sebagai berikut



$$B_{\text{pada koil rectangular}} = \overrightarrow{B_1}+\overrightarrow{B_2}+\overrightarrow{B_3}+\overrightarrow{B_4}$$

$$\overrightarrow{B_{koil}} = \sum_1^4 KI\int_0^L\left[\left(\frac{zdy-ydz}{r^3}\right)\hat{i}+\left(\frac{xdz-zdx}{r^3}\right)j+\left(\frac{ydx-xdy}{r^3}\right)k\right]\text{.....(6)}$$

2.4 Medan Magnet Pada Selenoida

Apabila suatu kawat penghantar dialiri arus listrik, maka pada kawat tersebut akan muncul medan magnet []. Kuat arus listrik akan menentukan besarnya medan magnet yang dihasilkan pada kawat tersebut. Kuat medan magnet dalam solenoida dirumuskan sebagai berikut:

$$B=\frac{\mu_0 IN}{l} \text{..... (7)}$$

Dimana $I = V/R$ dan $R=\rho\frac{l}{A}$ Maka persamaan menjadi

$$B=\frac{\mu_0 N\frac{VA}{\rho l}}{L} \text{.....(8)}$$

Dimana :

B = Medan Magnet (Wb/m^2)

N = Banyaknya lilitan

V = Tegangan (Volt)

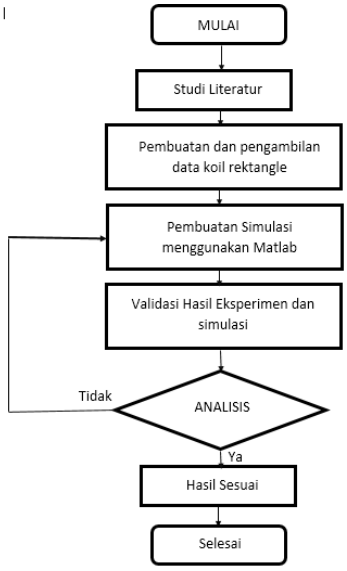
R = Hambatan (Ohm)

ρ = Hambatan jenis bahan

l = panjang kawat (meter)

A = luas penampang koil (m^2)

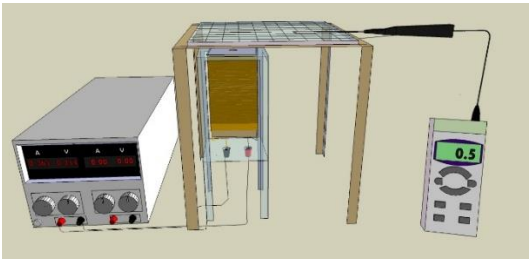
L = Panjang Selenoida (meter)



2.5 Perancangan alat

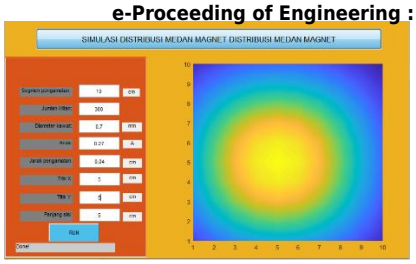
2.5.1 Perancangan alat eksperimen

1. Pembuatan koil dan penampang koil
2. Pembuatan segmen pengamatan
3. Memberi arus DC pada koil
4. Pengambilan data disetiap titik koordinat



2.5.2 Percancangan simulasi

1. Memahami hukum biot-savart untuk koil rectangular
2. Membuat algoritma di Matlab R2017a
3. Input nilai sesuai dengan hasil eksprimen
4. Mengintegrasikan program ke GUI

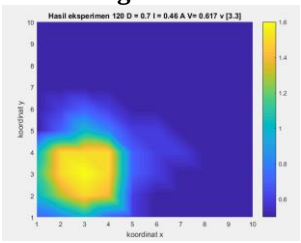


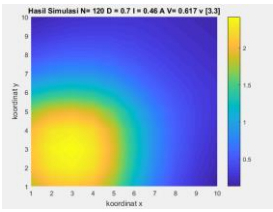
3. Hasil Penelitian

3.1 Distribusi medan magnet pada koil dengan variasi diameter tembaga

Terlihat pada gambar di bawah ini, distribusi medan magnet pada eksperimen dan simulasi menunjukan pola yang sama. Warna kuning menggambarkan nilai tertinggi pada distribusi medan magnet ada pada bagian pusat koil.

A. 120 Lilitan dengan diameter tembaga 0.7 dengan koordinat (3.3) dan I=0.46

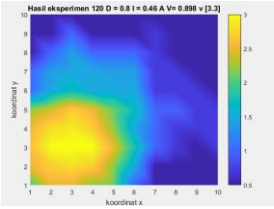


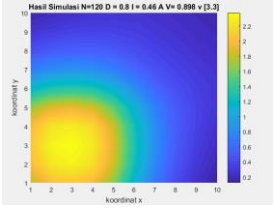


(a) (b)

Gambar 4. 1 Hasil eksperimen (a) dan simulasi (b) koil diameter 0.7 mm

B. 120 Lilitan dengan diameter tembaga 0.8 dengan koordinat (3.3) dan I = 0.46A





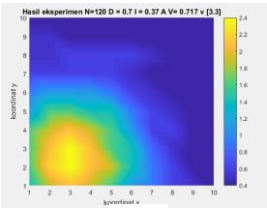
(a) (b)

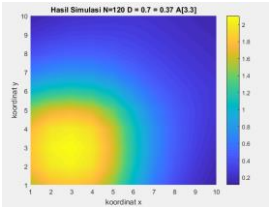
Gambar 4. 2 Hasil eksperimen (a) dan simulasi (b) koil diameter 0.8 mm

Dengan mevariasikan diameter tembaga yang digunakan didapatkan perbedaan nilai medan magnet. Pada koil yang menggunakan diameter 0.7 mm didapatkan hasil nilai maksimum medan magnet dari eksperimen adalah 1,8 G sementara hasil dari simulasi adalah 2.3 G. Pada koil yang menggunakan diameter 0.8 mm didapatkan nilai maksimum medan magnet dari eksperimen 3 G sementara dari simulasi adalah 2.41 G Hasil tersebut dapat membuktikan persamaan 8 dimana saat diameter kawat pada koil diperbesar maka hambatan pada koil akan berkurang dan medan magnet akan bertambah. Perbedaan nilai dari eksperimen dan simulasi dikarenakan pada saat pengambilan data eksperimen terdapat gangguan medan magnet eksternal seperti medan magnet bumi, perangkat elektronik maupun instrumentasi pada tempat pengambilan data yang pada simulasi medan magnet eksternal ini diabaikan.

3.1.2 Perbandingan distribusi medan magnet pada koil dengan variasi banyaknya lilitan (N= 120 , 200 ,300)

A. 120 Lilitan dengan diameter tembaga 0.7 dengan koordinat (3.3) dan I = 0.37A

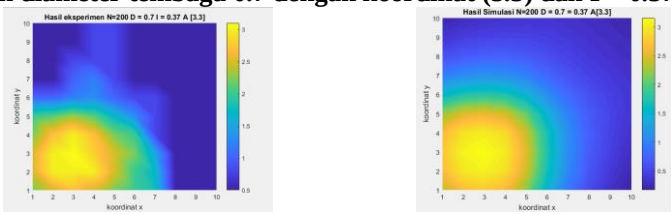




(a) (b)

Gambar 4. 3 Hasil eksperimen (a) dan simulasi (b) dengan 120 lilitan dengan diameter 0.7mm

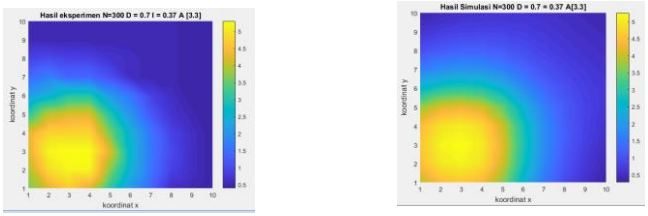
B. 200 Lilitan dengan diameter tembaga 0.7 dengan koordinat (3.3) dan I = 0.37 A



(a) (b)

Gambar 4. 4 Hasil eksperimen (a) dan simulasi (b) dengan 200 lilitan dengan diameter 0.7mm

C. 300 Lilitan dengan diameter tembaga 0.7 dengan koordinat (3.3) dan I = 0.37 A

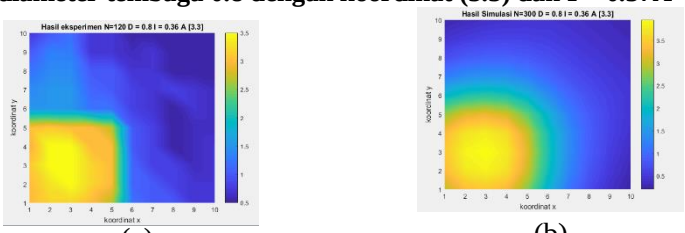


(a) (b)

Gambar 4. 5 Hasil eksperimen (a) dan simulasi (b) dengan 300 lilitan dengan diameter 0.7mm

Dengan mevariasikan banyaknya lilitan yang digunakan didapatkan perbedaan nilai medan magnet. Pada koil yang memiliki 120 lilitan dengan diameter 0.7 mm didapatkan hasil nilai maksimum medan magnet dari eksperimen adalah 2.4 G sementara hasil dari simulasi adalah 2 G. Pada koil yang memiliki 200 lilitan dengan diameter 0.7 didapatkan nilai maksimum medan magnet dari eksperimen 3 G sementara dari simulasi adalah 3G. Pada koil yang memiliki 300 lilitan dengan diameter 0.7 didapatkan nilai maksimum medan magnet dari eksperimen 5 G sementara dari simulasi adalah 5 G. Hasil tersebut dapat membuktikan persamaan 7 dimana saat ditambahkan banyaknya lilitan maka sebanding lurus dengan kenaikan nilai medan magnet.
nilai medan magnet.

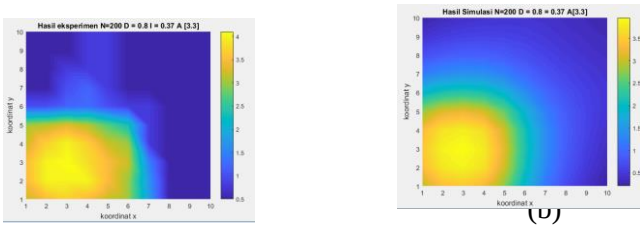
D. 120 Lilitan dengan diameter tembaga 0.8 dengan koordinat (3.3) dan I = 0.37A



(a) (b)

Gambar 4. 6 Hasil eksperimen (a) dan simulasi (b) dengan 120 lilitan dengan diameter 0.8mm

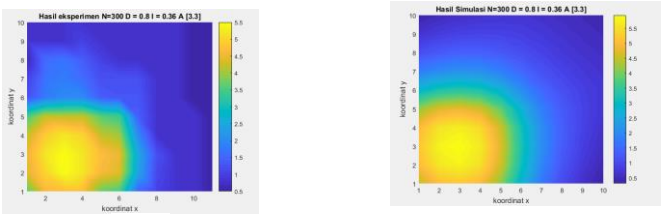
E. 200 Lilitan dengan diameter tembaga 0.8 dengan koordinat (3.3) dan I=0.37A



(b)

Gambar 4. 7 Hasil eksperimen (a) dan simulasi (b) dengan 200 lilitan dengan diameter 0.8mm

F. 300 Lilitan dengan diameter tembaga 0.8 dengan koordinat (3.3) dan I = 0.37 A



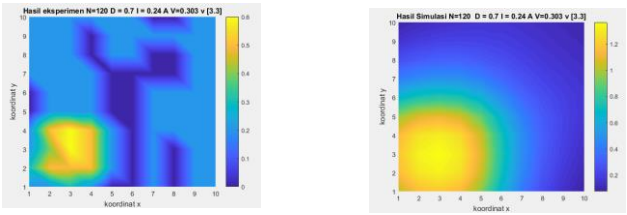
(a) (b)

Gambar 4. 8 Hasil eksperimen (a) dan simulasi (b) dengan 300 lilitan dengan diameter 0.8mm

Percobaan mevariasikan banyaknya lilitan dilakukan juga dengan koil berdiameter 0.8 mm dan mevariasikan banyaknya yang digunakan didapatkan perbedaan nilai medan magnet. Pada koil yang memiliki 120 lilitan dengan diameter 0.8 mm didapatkan hasil nilai maksimum medan magnet dari eksperimen 3.5 G sementara hasil dari simulasi adalah 3.5 G. Pada koil yang memiliki 200 lilitan dengan diameter 0.8 didapatkan nilai maksimum medan magnet dari eksperimen 4 G sementara dari simulasi adalah 3.7G. Pada koil yang memiliki 300 lilitan dengan diameter 0.8didapatkan nilai maksimum medan magnet dari eksperimen 5.5 G sementara dari simulasi adalah 5.5 G. Hasil tersebut dapat membuktikan persamaan 7 dimana saat ditambahkan banyaknya lilitan maka sebanding lurus dengan kenaikan nilai medan magnet.

4.1.3 Perbandingan hasil diistribusi medan magnet pada koil dengan variasi arus

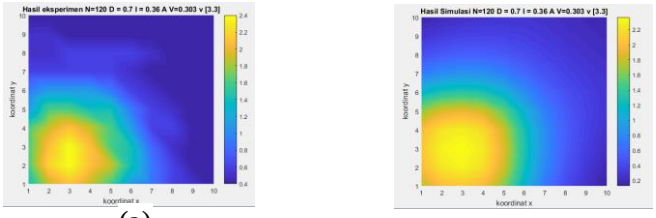
A. 120 Lilitan dengan diameter tembaga 0.7 dengan koordinat (3.3) dan I = 0.24 A



(a) (b)

Gambar 4. 9 Hasil eksperimen (a) dan simulasi (b) dengan arus 0.24 A dengan diameter 0.7mm

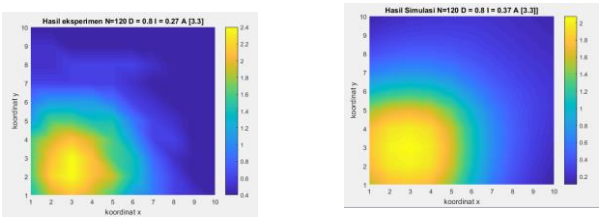
B. 120 Lilitan dengan diameter tembaga 0.7 dengan koordinat (3.3) dan I = 0.36 A



(a) (b)

Gambar 4.10 Hasil eksperimen (a) dan simulasi (b) dengan arus 0.36 A dengan diameter 0.7mm

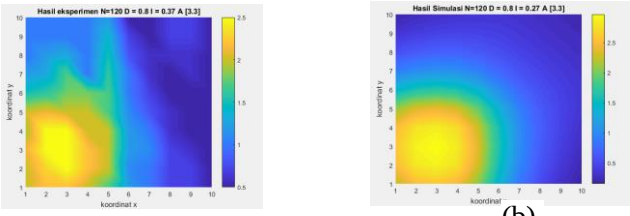
C. 120 Lilitan dengan diameter tembaga 0.8 dengan koordinat (3.3) dan I = 0.27 A



(a) (b)

Gambar 4.11 Hasil eksperimen (a) dan simulasi (b) dengan arus 0.27 A dengan diameter 0.8 mm.

D. 120 Lilitan dengan diameter tembaga 0.8 dengan koordinat (3.3) dan I = 0.37 A



(a) (b)

Gambar 4. 12 Hasil eksperimen (a) dan simulasi (b) dengan arus 0.37 A dengan diameter 0.8 mm.

Dengan mevariasikan arus pada koil berdiameter 0.7 dan 0.8 mm dengan lilitan 120 yang digunakan didapatkan perbedaan nilai medan magnet. Pada koil yang memiliki diameter kawat 0.7 mm yang diberi arus 0.24 A didapatkan hasil nilai maksimum medan magnet dari eksperimen adalah 0.6 G sementara hasil dari simulasi adalah 1.4 G. Pada koil yang memiliki diameterkawat 0.7 mm yang diberi arus 0.36 A didapatkan hasil nilai maksimum medan magnet dari eksperimen adalah 2.4 G sementara hasil dari simulasi adalah 2.2 G. Pada koil yang memiliki diameterkawat 0.8 mm yang diberi arus 0.27 A didapatkan hasil nilai maksimum medan magnet dari eksperimen adalah 2.4 G sementara hasil dari simulasi adalah 2 G. Pada koil yang memiliki diameterkawat 0.8 mm yang diberi arus 0.37 A didapatkan hasil nilai maksimum medan magnet dari eksperimen adalah 2.5 G sementara hasil dari simulasi adalah 2.5 G. Hasil tersebut dapat membuktikan persamaan 7 dimana besarnya arus berbanding lurus dengan besarnya medan magnet, maka saat arus dinaikan maka nilai medan magnetpun membesar. Perbedaan nilai dari eksperimen dan simulasi dikarenakan pada saat pengambilan data eksperimen terdapat gangguan medan magnet eksternal seperti medan magnet bumi, perangkat elektronik maupun instrumentasi pada tempat pengambilan data yang pada simulasi medan magnet eksternal ini diabaikan

4.1 Simpulan

1. Berdasarkan hasil validasi simulasi dan eksperimen maka simulasi koil rectangular menggunakan Matlab dapat menggambarkan pendistribusian medan magnet pada koil rectangular terlihat dari pencitraan gambar pada hasil eksperimen dan hasil simulasi yang memiliki pola yang sama dimana warna kuning yang menunjukan nilai maksmimal pada koil terdapat pada pusat koil dititik koordinat [3.3].

2. Nilai medan magnet pada koil dapat dipengaruhi oleh besarnya diameter koil , banyaknya lilitan dan besarnya arus dimana besarnya diameter besar banyaknya lilitan dan besarnya arus koil berbanding lurus dengan medan magnet dibuktikan saat diameter kawat 0.7 mm menghasilkan nilai maksimum 2.3 G dan diameter kawat 0.8 memiliki nilai maksmimum 2.41. Koil dengan 120 lilitan menghasilkan nilai maksimum 2 G untuk koil berdiameter 0.7mm dan 3.5 G untuk koil berdiameter 0.8mm dan koil dengan 200 lilitan menghasilkan nilai maksimum 3.5 G untuk koil berdiameter 0.7mm dan 4 G untuk koil berdiameter 0.8mm koil dengan 300 lilitan menghasilkan nilai maksimum 5 G untuk koil berdiameter 0.7mm dan 5.5 G untuk koil berdiameter 0.8mm dan koil dengan 120 lilitan dan diberi arus 0.24 A menghasilkan nilai maksimum 1.2 G untuk koil berdiameter 0.7mm dan 2.2 G untuk koil berdiameter 0.8mm dan 120 lilitan dan diberi arus 0.36 A menghasilkan nilai 2.2 G untuk koil berdiameter 0.7mm dan 2.5 G untuk koil berdiameter 0.8mm.

4.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan ini terdapat beberapa hal yang perlu diperbaiki untuk pengembangan dan penelitian lebih lanjut. Beberapa saran yang dianjurkan untuk diperbaiki

1. Variasi jarak pada eksperimen sebaiknya dilakukan guna memvalidasi hasil simulasi

2.Melakuakan eksperimen diruangan yang minimal gangguan medan magnet seperti handphone, laptop dan instrumen yang tidak digunakan dalam pengambilan data guna memaksimalkan hasil eksperimen, tanpa gangguan medan magnet dari alat lainnya

DAFTAR PUSTAKA

[1] KT Novianto, D Darmawan,S Suprayogi. *Studi Perbandingan Tingkat Kehomogenan Distribusi Medan Magnet Oleh Kumparan Berdasarkan Bentuk Penampang Kumparan.* 2019.

[2] MP, Firmawan. *Perbandinan kehomogenan distribusi medan magnet yang terbentuk dari sistem koil tuggal dan koil jamak.* 2019.

[3] A. F. Bahalwan. *OPTIMASI PARAMETER KOIL UNTUK MENINGKATKAN KUAT MEDAN MAGNET PADA SUMBER MEDAN MAGNET BERBASIS SOLENOIDA.* 2019

[4] "Pseudocolor plot," Mathworks, [Online]. Availabe: https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/pcolor.html. [Diakses 3 November 2019].