

## **Penentuan Distribusi Magnet Sekitar Koil Melingkar Berarus: Suatu Pendekatan Numerik**

**Eliezer M. Rongre\*, Nathaniel L. Bijang, Yonatan Parassa**

Jurusan Teknik Elektro, Polteknik Negeri Manado, Jl. Raya Politeknik Buha, Manado

\*Corresponding author: [eliezermangoting@gmail.com](mailto:eliezermangoting@gmail.com)

### **Abstrak**

Telah dilakukan penelitian untuk merancang dan membuat suatu aplikasi untuk penentuan distribusi magnet sekitar koil melingkar berarus melalui pendekatan numerik. Metode penelitian adalah membangun suatu model matematis pencarian nilai medan magnet pada titik titik di sekitar suatu koil berarus. Penentuannya menggunakan hukum hukum elektromagnetika. Solusi matematis persamaan persamaan tersebut diperoleh dengan menggunakan pendekatan metode numerik. Model pendekatan numerik tersebut kemudian diimplementasikan dengan membuat suatu aplikasi komputer menggunakan bahasa C++. Selanjutnya dilakukan pengujian dengan menggunakan model analitik dan hasil hasil kualitatif eksperimental. Hasil penelitian menunjukkan model yang digunakan dan implementasinya dengan program komputer memberikan hasil yang mirip dengan teori dan hasil kualitatif eksperimen.

Kata kunci: koil berarus; distribusi magnet; bahasa C++; metode numerik

## **Determination of the Magnetic Distribution Around a Current-Carrying Circular Coil: A Numerical Approach**

### **Abstract**

An experiment has been conducted to design and develop an innovative application for the Determination Of the Distribution Of Magnetic Field Around a Spherical Coil Containing Current. The research methodology introduces a novel mathematical model for determining the magnetic field at various points around a spherical coil containing current. This model is based on established electromagnetics laws and is solved using a numerical approximation method. The resulting numerical approximation model is then implemented through a C++ language computer application. The application's effectiveness is validated through a comparison with theoretical and qualitative experimental results, demonstrating its accuracy and reliability.

Keywords: current coil; magnetic distribution, C++ language; numerical method

## PENDAHULUAN

Koil adalah salah satu elemen listrik yang aplikasinya sangat luas dalam kelistrikan dan elektronika. Dalam kelistrikan contohnya untuk motor listrik, generator listrik, dan transformator. Dalam elektronika misalnya berbentuk induktor. Aplikasinya di antaranya untuk sensor berbasis induktif, filter, osilator dan lain lain.

Salah satu karakteristik khusus dari suatu koil adalah ketika koil dialiri arus listrik maka ia akan menghasilkan medan magnet di dalam dan di luar daerah yang dilingkupi oleh koil. Penentuan besar dan arah medan magnet pada suatu titik di sekitar cincin berarus dapat diperoleh dengan menggunakan hukum Biot-Savart.

Medan magnet di sekitar suatu koil berbentuk cincin yang berarus dengan menggunakan hukum Biot-Savart akan menggunakan integrasi yang meliputi semua bagian koil melingkar tersebut. Penengintegralan ini mengiutkan vector sehingga cukup sulit untuk dilakukan. Saat ini rumus sederhana untuk memperoleh kuat dan arah medan magnet masih sebetas pada titik-titik yang khusus. Yang banyak tersedia di buku fisika dasar dan teori medan elektromagnetik adalah rumus sederhana untuk titik titik yang berada pada sumbu tegak lurus bidang cincin yang melalui titik pusat cincin.

Berdasarkan hal tersebut maka dibutuhkan suatu cara untuk menentukan kuat dan arah medan magnet di sekitar suatu cincin yang berarus. Dalam paper ini, hal itu ditempuh dengan menggunakan pendekatan numerik. Metode pendekatan ini cukup melelahkan untuk dikerjakan secara manual. Untuk itu kemudian bentuk model numerik ini kemudian dibentuk menjadi suatu bentuk program komputer. Dengan bentuk sebagai suatu komputer ini, maka hasilnya dapat diperoleh secara cepat dan mudah dengan menggunakan komputer.

## METODOLOGI

Cincin dalam bahasan ini dinyatakan berada dalam bidang xy, dan berada pada posisi  $z = 0$ . Titik pusat cincin berada pada koordinat  $(0,0,0)$ . Pembahasan didasarkan pada persamaan Biot-Savart yang menyatakan suatu elemen kabel sepanjang  $dl$  yang mengangkut arus  $I$  akan menghasilkan medan magnet  $d\vec{B}$  pada suatu titik sejauh  $r$  dari elemen tersebut dengan hubungan :

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I d\vec{l} \times \hat{r}}{4\pi r^2} \quad (1)$$

dengan  $I$ : kuat arus

$\mu_0$ : permeabilitas vakum

$dl$  : elemen Panjang

$r$  : jarak dari elemen arus ke titik yang ditinjau

$\hat{r}$  : vector satuan jarak

Medan magnet pada suatu titik adalah hasil penjumlahan kontribusi dari setiap elemen arus dari kabel. Untuk maka persamaan 1 akan diintegrasikan menjadi:

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

Bentuk analitik seperti di atas sulit untuk diselesaikan secara analitik untuk semua titik di sekitar suatu kabel berbentuk cincin yang berarus. Hasil yang diperoleh umumnya hanya untuk kasus khusus. Salah satu di antaranya adalah untuk kasus titik titik sumbu

tegak lurus bidang cincin yang melewati titik pusat lingkaran cincin. Bentuk rumusnya adalah sebagai berikut:

$$B = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + z^2)^{3/2}} \quad (3)$$

dengan R: jari jari cincin

z: jarak titik pada sumbu tegak lurus dengan titik pusat lingkaran

Bentuk persamaan analitik dalam persamaan 2 dapat dikonversi menjadi bentuk pendekatan numerik menjadi :

$$\vec{B} = \sum \frac{\mu_0 I \Delta l x \Delta \hat{r}_i}{4\pi \Delta r_i^2} \quad (4)$$

Bentuk persamaan 4 dapat didekati dengan membagi cincin menjadi segmen segmen pendek berbentuk busur, dan panjangnya dapat dinyatakan sebagai  $\Delta l$ . Segmen  $\Delta l$  ini diapit oleh dua jari jari yang ditarik dari pusat cincin dan membentuk sudut  $\Delta \theta$ . Posisi segmen segmen ini diwakili oleh titik di pertengahan segmen yang membagi dua segmen ini sama besar. Titik ini membagi sudut yang mengapit segmen ini menjadi  $\frac{\Delta \theta}{2}$  di kiri dan kanan. Untuk suatu cincin berjari jari R maka panjang segmen  $\Delta l$  adalah:

$$\Delta l = R \cdot \Delta \theta \quad (5)$$

Posisi pusat cincin diambil sebagai pusat koordinat. Posisi titik yang mewakili segmen ke-I dalam system koordinat polar dinyatakan sebagai

$$\vec{r}_i = (R, \theta_i) \quad (6)$$

Dalam system koordinat Cartesian posisi ini dapat dinyatakan sebagai:

$$\vec{r}_i = x_i \hat{i} + y_i \hat{j} \quad (7)$$

dengan:  $x_i = R \cos \theta_i$

$y_i = R \sin \theta_i$

Selanjutnya posisi titik di mana kuat medan magnet hendak ditinjau terhadap titik pusat cincin dapat dinyatakan sebagai:

$$\vec{r}_p = x_p \hat{i} + y_p \hat{j} + z_p \hat{k} \quad (8)$$

Selanjutnya vector jarak dari elemen arus ke titik peninjauan dinyatakan sebagai berikut:

$$\Delta \vec{r}_i = \Delta x_i \hat{i} + \Delta y_i \hat{j} + \Delta z_i \hat{k} \quad (9)$$

dengan:  $\Delta x_i = x_p - x_i$

$\Delta y_i = y_p - y_i$

$\Delta z_i = z_p$

Arah dari oleh vektor satuan  $\Delta l$  dinyatakan sebagai:

$$\hat{\Delta l} = \sin \theta \hat{i} - \cos \theta \hat{j}$$

Kemudian vector satuan  $\Delta r_i$  :

$$\widehat{\Delta r}_i = \frac{1}{\Delta r_i} (\Delta x_i \hat{i} + \Delta y_i \hat{j} + \Delta z_i \hat{k} )$$

Selanjutnya akan dilakukan perkalian silang dari vector dan kemudian dilakukan penjumlahan.

Model matematis ini kemudian akan diubah menjadi suatu program komputer untuk menghasilkan perhitungan yang cepat dan praktis.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Model pendekatan seperti yang diuraikan di atas kemudian diubah menjadi bentuk Program. Kami membuatnya dengan program yang menggunakan coding bahasa C. Bentuk programnya adalah sebagai berikut:

```
#include<stdio.h>
#include<conio.h>
#include<stdlib.h>
#include<math.h>
int i,m,n;
float u0, radius, Theta,I,B,IS,l,lx,ly,lz;
float rx, ry, rz,r;
float BXT,BYT,BZT,CBx,CBy,CBz,Bx,By,Bz;
float x,y,z,X,Y,Z,pi;
int main()
{
    printf(" masukkan jari jari cincin ");
    scanf("%f",&radius); // satuan meter
    printf("masukkan kuat arus"); //satuan ampere
    scanf("%f",&I);
    printf("masukkan koordinat koordinat titik peninjauan\n");
    printf("x = ");
    scanf("%f",&x);
    printf("y=");
    scanf("%f",&y);
    printf("z=");
    scanf("%f",&z);
    printf("tentukan jumlah pembagian (m) :");
    scanf("%i",&m);
    pi = acos(-1);
    u0= 1.26*pow(10,-6);
    IS=2*pi/m;
    Theta=0;
    BXT=0;
    BYT=0;
    BZT=0;
    for (i=0; i<m; i++)
    {
        X= radius*cos(Theta);
        Y = radius*sin(Theta);
        Z = 0;
        rx = x - X;
        ry = y - Y;
        rz = z - Z;
```

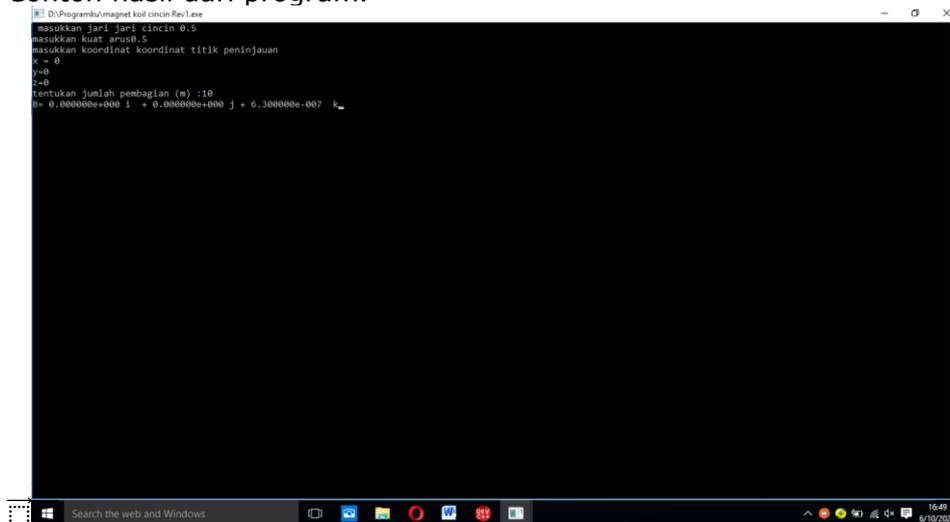
```

    r = sqrt(pow(rx,2) + pow(ry,2)+pow(rz,2));
    l= radius * IS;
    lx = -l*sin(Theta);
    ly = l*cos(Theta);
    lz = 0;
    CBx = (1/(4*pi))*u0*I*ly*rz/(pow(r,3));
    CBy = (1/(4*pi))*u0*I*(-lx*rz)/(pow(r,3));
    CBz = (1/(4*pi))*u0*I*(lx*ry - ly*rx)/pow(r,3);
    BXT= BXT + CBx;
    BYT = BYT + CBy;
    BZT = BZT + CBz;
    Theta = Theta + IS;
}
Bx = BXT;
By=BYT;
Bz=BZT;
printf("B= %f i + %f j + %f k",Bx,By,Bz);
}

```

Pengujian program sudah dilaksanakan, dan hasil pengujianya sebagai berikut:

Contoh hasil dari program.



Beberapa hasil pengujian dapat dituliskan seperti berikut:

- Posisi: titik :  $x=0, y=0, z=0$  , Arus  $I = 0,5$  A, Jari jari cincin  $R = 0.1$  m.  
 Analitik:  $\vec{B} = 3,14 \times 10^{-6} \hat{k}$  T  
 Aplikasi, jumlah iterasi  $m=10$  , :  $\vec{B} = 3,15 \times 10^{-6} \hat{k}$  T,  $m=100$  , :  $\vec{B} = 3,149996 \times 10^{-6} \hat{k}$  T
- $x=0, y=0, z=0,01$ m,  $I=0,5$ A,  $R=0,1$ m  
 Analitik : :  $\vec{B} = 3,09 \times 10^{-6}$   
 Aplikasi,  $n=10$   $\vec{B} = (3,55 \times 10^{-15} \hat{i} + 1,07 \times 10^{-14} \hat{j} + 3,10 \times 10^{-6} \hat{k})$  T
- $X=0, y=0, z=0,1$  ,  $I=0,5$ A,  $R=0,1$  m.  
 Analitik:  $\vec{B} = 1,11016 \times 10^{-6} \hat{k}$  T  
 Aplikasi  $\vec{B} = (2,131 \times 10^{-14} \hat{i} - 7,105 \times 10^{-15} \hat{j} + 1,113 \times 10^{-6} \hat{k})$  T
- $X=0.05, y=0,06, z=0, R=0,1, I=0,5$   
 $\vec{B} = 5,281 \times 10^{-6} \hat{k}$  T
- $X= -0.05, y=0,06, z=0, R=0,1, I=0,5$   
 $\vec{B} = 5,281 \times 10^{-6} \hat{k}$  T
- $R=0,1, x=0,05, y=0,06, z=0,01, n=10$

$$\vec{B} = (9,231 \times 10^{-7} \hat{i} + 9,921 \times 10^{-7} \hat{j} + 4,786 \times 10^{-6} \hat{k}) \text{ T}$$

7.  $R=0,1\text{m}, x=0,1\text{m}, y=0, z=0,01, I = 0,5\text{A}$

$$\vec{B} = (3,170 \times 10^{-5} \hat{i} - 7,105 \times 10^{-14} \hat{j} + 1,192 \times 10^{-6} \hat{k}) \text{ T}$$

8.  $R=0,1 \text{ m}, x=0,15\text{m}, y= 0,05\text{m}, z=0,1\text{m} , I=0,5\text{A}, m=10$

$$\vec{B} = (3,440 \times 10^{-7} \hat{i} + 1,147 \times 10^{-7} \hat{j} + 5,479 \times 10^{-8} \hat{k}) \text{ T}$$

9.  $R= 0,1 , x=0,15, y=0,07, z=0,1 , m=10$

$$\vec{B} = (2,986 \times 10^{-7} \hat{i} + 1,398 \times 10^{-7} \hat{j} + 2,918 \times 10^{-8} \hat{k}) \text{ T}$$

10.  $R=0,1, x=0,15, y=0,1, z=0,1, I=0,5\text{A}$

$$\vec{B} = (2,242 \times 10^{-7} \hat{i} + 1,496 \times 10^{-7} \hat{j} - 6,491 \times 10^{-9} \hat{k}) \text{ T}$$

11.  $R=0,1,, x= 0,15, y=0,07 , z=0,01, I=0,5$

$$\vec{B} = (1,277 \times 10^{-7} \hat{i} + 6,274 \times 10^{-8} \hat{j} - 5,350 \times 10^{-7} \hat{k}) \text{ T}$$

12.  $R=0.1. x=0,15, y=0,007, z=0, I =0,5\text{A}, m=10$

$$\vec{B} = - 1,055 \times 6 \hat{k} \text{ T}$$

13.  $R=0,1 \text{ m}, x= 0,15, y=0,07, z=0 , I=0,5, m=10$

$$\vec{B} = - 5,564 \times 10^{-7} \hat{k}$$

Analisa hasil pengujian seperti berikut:

- Pengujian pertama adalah pada sumbu cincin yang melewati pusat cincin dan tegak lurus bidang cincin. Arah dan besar medan magnet pada sumbu dapat dihitung secara analitik dengan menggunakan persamaan 3. Contoh hasil pengujian ini adalah pada hasil nomor 1 – 3 di atas. Hasil pengujian, dalam batas kesalahan yang bisa ditoleransi, sesuai dengan hasil analitik.
- Pengujian nomor 4 dan 5 adalah titik titik pada bidang cincin dan berada pada bagian dalam cincin. Secara kualitatif diketahui bahwa di situ arah meda ke atas, tegak lurus bidang. Hasil dari aplikasi menunjukkan kecocokan.
- Pengujian pada nomor 6 dan 7 adalah titik titik di atas bidang cincin, dalam lingkngkungan yang lebih kecil dari jari jari cincin. Secara kualitatif,, di sini arah medn sudah tidak tegak lurus bidang, dan mulai ada komponen mengarah keluar. Hasil pengujian juga menunjukkan kesesuaian.
- Pengujian nomor 8 -11 adalah pengujian titik titik di luar lingkaran cincin dan berada di atas bidang cincin. Hasil kualitatif menyatakan pada wilayah ini akan makinberalih dari menaarah ke atas, makin mendekati datar dan datar hingga mengarah ke bawah. Hasil pengujian aplikasi menunjukkan hasil yang sesuai. Pada pengujian nomor 11 sudah menunjukkan medan magnet sudah mengarah ke bawah.
- Pengujian nomor 12 dan 13 adalah titik titik pada bidang cincin di luar lingkaran cincin. Hasil kualitatif menyatakan medan magnet akan mengarah ke bawah, tegak lurus bidang. Hasil aplikasi menunjukkan kesesuaian.

Hasil-hasil di atas menunjukkan bahwa model pendekatan numerik dan implementasinya dengan program komputer sudah membarikan hasil yang sesuai.

## KESIMPULAN

1. Pengujian dan pembahasan hasilnya menunjukkan bahwa metode pendekatan numerik yang digunakan bias memberikan hasil yang mendekati hasil teoritis dan eksperimen.
2. Implementasi model pendekatan numerik yang digunakan dengan menggunakan program komputer telah menunjukkan hasil yang mendekati teori dan eksperimen.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alaydrus, M. 2014. Medan Electromagnetka, Andi Offset, Yogyakarta.
- Eka, B.M., Priyambodo, T.K. 2010, Fisika Dasar Untuk Ilmu Eksakta & Teknik Listrik Magnet, Optika, Fisika Modern, Andi Offset, Yogyakarta.
- Hallyday,D., Resnick,R. 1978. (Terj. Silaban,P.: Fisika, Jilid2, Erlangga, Jakarta.
- Kadir, Abdul: Bahasa C, Andi Offset, 1990, Yogyakarta
- Page, L., Adams, N.I. 1949, Principles Of Electricity, D. Van Nostrand Company, Princeton.
- Purcel, E., Varrberg, D. 1984. (Terj.Susila,I.N,Kartasamita,B.): Kalkulus dan Geometri Analitis,Erlangga, Jakarta.
- Sahid, 2005.Pengantar Komputasi Numerik Dengan Matlab, Andi Offset, Yogyakarta .
- Selby, S.M. 1967, (Editor): Standard Mathematical Tables, The Chemical Rubber, Co., Cleveland, Ohio.
- Soedjojo, P. 1995, Asas Asas Matematika Fisika dan Teknik, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.