



DISTRIBUSI MEDAN MAGNET PADA SOLENOID

Oleh:

Kukuh Dwi Sudharma
NIM 100210102045

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2016



DISTRIBUSI MEDAN MAGNET PADA SOLENOID

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Pendidikan Fisika (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Pendidikan

Oleh:

Kukuh Dwi Sudharma
NIM 100210102045

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2016

PERSEMBAHAN

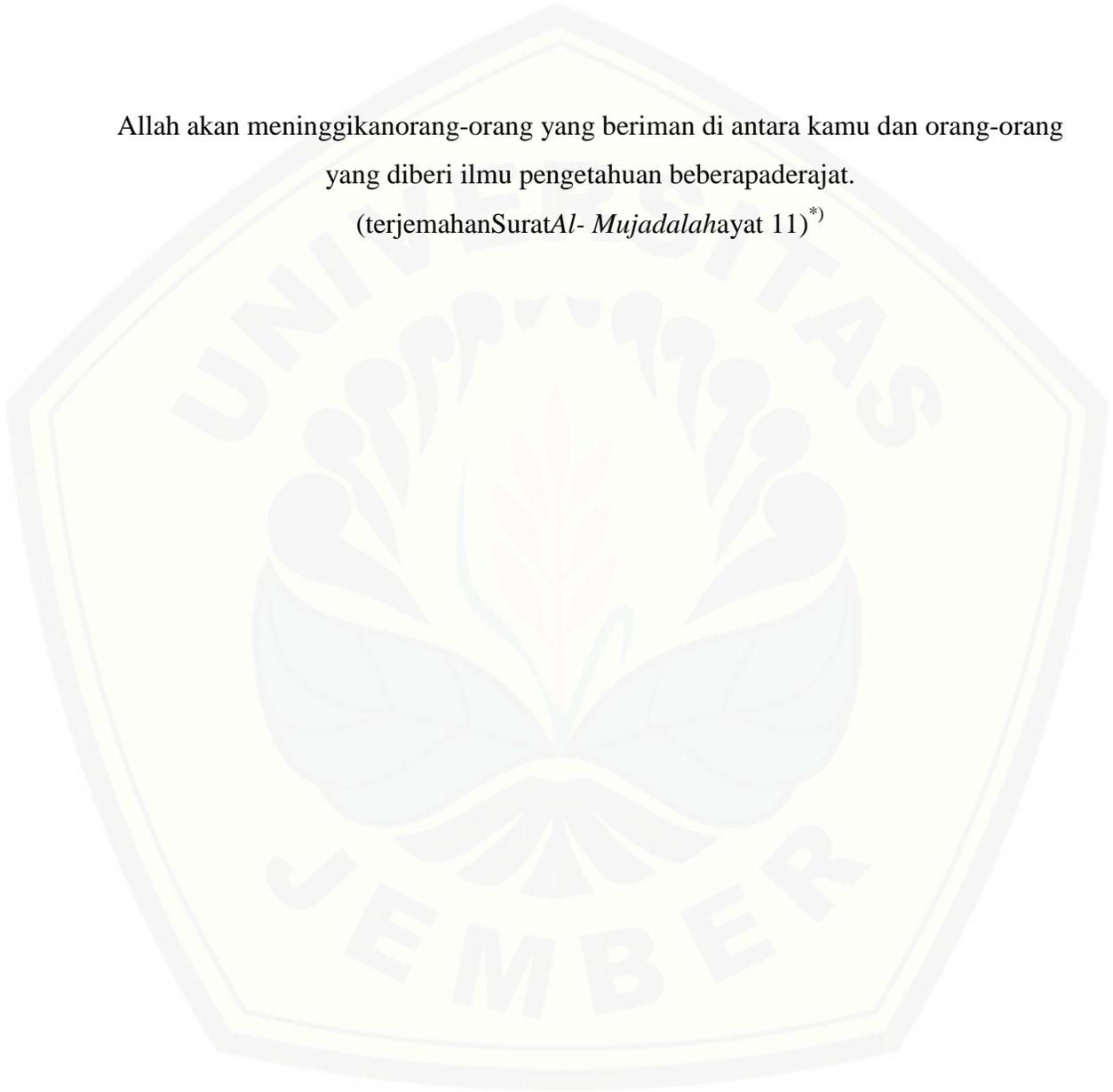
Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Ibunda tercinta Suliasih yang selama ini senantiasa memberikan motivasi dan do'a agar menjadi pribadi yang sukses;
2. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi.
3. Almamater Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

MOTTO

Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat.

(terjemahan Surat *Al- Mujadalah* ayat 11)^{*)}



^{*)} Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al Qur'an dan Terjemahannya*. Semarang: PT Kumudasmoro Grafindo.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Kukuh Dwi Sudharma

NIM : 100210102045

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “ Distribusi Medan Magnet pada Solenoid ” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 19 Agustus 2016

Yang menyatakan,

Kukuh Dwi Sudharma

NIM. 100210102045

DISTRIBUSI MEDAN MAGNET PADA SOLENOID

Oleh:

Kukuh Dwi Sudharma
NIM 100210102045

Dr. Sudarti, M.Kes

(Pembimbing Utama)

Rif'ati Dina Handayani, S.Pd, M.Si

(Pembimbing Anggota)

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Distribusi Medan Magnet pada Solenoid”. telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember pada:

hari, tanggal : Jum’at 19 Agustus 2016

tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Sudarti, M.Kes.
NIP. 19620123 198802 2 001
Anggota I,

Rif’ati Dina Handayani, S.Pd, M.Si
NIP. 198110205 200604 2 004
Anggota II,

Drs. Alex Hariyanto, M.Si
NIP. 19641117 199103 1 001

Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si.
NIP. 19620401 198702 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Jember,

Prof. Dr. Sunardi, M.Pd.
NIP. 19540501 198303 1 005

RINGKASAN

Distribusi Medan Magnet pada Solenoid; Kuku Dwi Sudharma,100210102045; 2016:32halaman; Program Studi Pendidikan Fisika Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Penelitian yang dilakukan oleh Ganatilaka dan Fernando (2015) menggunakan kompas sebagai indikator nilai medan magnetnya. Dari pengukuran tersebut Fernando mendapatkan bahwa medan magnetnya tidak seragam. Nilai medan magnet terkecil dijumpai di pusat kumparan. Semakin ketepi, nilai medan magnetnya semakin besar. Penelitian yang dilakukan oleh Fernando ini hanya berupa data oleh karena itu dibutuhkan Matlab untuk menjelaskan distribusi medan magnet. Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana distribusi medan magnet yang dihasilkan oleh solenoid dengan menggunakan Matlab. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis distribusi medan magnet pada solenoid dengan menggunakan Matlab.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Lanjut FKIP Fisika dengan pertimbangan Matlab yang digunakan adalah 64 bits. Jenis penelitian ini merupakan penelitian analitik. Hasil penelitian ini berupa gambar yang menjelaskan distribusi medan magnet. Dari gambar tersebut medan magnet dari setiap lilitan saling memperkuat dan membentuk medan magnet menyeluruh solenoid. Di sebelah dalam solenoid, garis-garis fluks magnetic diberkas berdekatan dan lurus. Jarak antara semua garis itu sebenarnya sama. Di luar solenoid, garis-garis fluks magnetic membuka keluar dan menutup kembali membentuk lingkaran tertutup yang memanjang.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Desain Medan Magnet pada Solenoid”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Suliasih yang selalu mendo'akan dan memberikan semangat.
2. Dr. Sudarti, M.Kes selaku Dosen Pembimbing Utama dan sekaligus Dosen Pembimbing Akademik, Rif'ati Dina Handayani, S.Pd, M.Si selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesainya penulisan skripsi ini;
3. Bapak/Ibu dosen yang telah memberikan bekal ilmu selama menyelesaikan studi di Program Pendidikan Fisika;
4. semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Besar harapan penulis bila segenap pembaca memberikan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan selanjutnya. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat. Amin.

Jember, 18 Agustus 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Medan Magnet	5
2.2 Hukum Bio dansavart	6
2.3 Medan Magnet di Kawat Lurus Tak Terhingga	7
2.4 Medan Magnet pada Cincin	9
2.5 Induksi Medan Magnet di Pusat Solenoid	10
2.6 Flux magnetik	12
2.7 Perangkat Lunak Matlab	14

BAB 3. METODE PENELITIAN	16
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	16
3.2 Jenis Penelitian	16
3.3 Alat	16
3.4 Alur Penelitian	16
3.5 Langkah Penelitian	16
3.6 Desain Simulasi Program Matlab	18
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Hasil Penelitian	19
4.2 Hasil Gambar	20
4.3 Pembahasan	23
BAB 5. PENUTUP	26
5.1 Kesimpulan	26
5.2 Saran	26
DAFTAR PUSTAKA	27
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Menentukan kuat medan magnet yang dihasilkan oleh elemen kawat	6
Gambar 2.2 Menentukan kuat medan yang dihasilkan oleh elemen kawat lurus panjang	7
Gambar 2.3 Variabel variabel integral persamaan.....	8
Gambar 2.4 Medan magnet di sumbu cincin yang dihasilkan oleh elemen pada cincin.....	10
Gambar 2.5 Contoh medan magnet yang dihasilkan solenoid	11
Gambar 2.6 Penampang solenoid jika dibelah dua	11
Gambar 2.7 Medan magnet di gerkan ke kumparan	12
Gambar 2.8 rangkaian dengan saklar S	13
Gambar 3.1 Diagram <i>flow chart</i>	18
Gambar 4.1 Medan Magnet pada Solenoid 3 Dimensi	21
Gambar 4.2 Penampakan distribusi medan magnet dari ujung samping atas.....	21
Gambar 4.3 Distribusi medan magnet pada Solenoid Tampak dari bawah Solenoid.....	21
Gambar 4.4 Distribusi medan magnet.....	23

BAB 1. PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai 1) latar belakang, 2) rumusan masalah, 3) tujuan penelitian, 4) manfaat penelitian, 5) batasan masalah. Untuk lebih jelasnya akan diuraikan seperti berikut di bawah ini.

1.1 Latar Belakang

Sudah sejak lama studi dan penelitian tentang magnet telah menghasilkan berbagai produk yang bermanfaat bagi umat manusia. Produk-produk seperti motor listrik, generator listrik, satelit, sistim pemantau radar, *central lock* pintu mobil, lampu, perangkat pengangkat dan penarik benda logam pada pesawat angkat, hingga kereta api cepat adalah beberapa contoh penerapan magnet. Produk di bidang kesehatan juga telah banyak dihasilkan yang memanfaatkan prinsip kemagnetan ini yaitu MRI (*Magnetic Resonance Imaging*) dan gelang/kalung bio-magnet yang banyak di minati oleh masyarakat Indonesia produksi China maupun Jepang yang berupa magnet tetap yang diklaim bisa membantu melancarkan peredaran darah dan memperbaiki syaraf yang terjepit.

Sumber medan magnet selain dari magnet permanen banyak sekali jenisnya, salah satu sumber medan magnet lainnya adalah dari aliran arus yang mengalir dalam kumparan. Sumber medan magnet dibedakan menjadi dua yaitu sumber medan magnet statik dan sumber medan magnet dinamik. Sumber medan magnet statik disebabkan oleh magnet permanen dan arus DC. Sedangkan sumber medan magnet dinamik (*Dynamic Magnetic Field*) disebabkan arus AC dan medan listrik dinamik. Bumi sendiri merupakan sumber medan magnet statik alami yang membentang dari utara ke selatan. Selain bumi sebagai sumber medan magnet statik alami banyak sumber medan magnet statik lain yang diciptakan oleh manusia misalnya magnet batang dan magnet U.

Medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan berarus listrik merupakan salah satu pokok bahasan dalam bidang listrik magnet. Pada berbagai buku teks fisika dasar dan listrik magnet disajikan berbagai macam bentuk kumparan penghasil medan magnet. Pada buku tersebut pembahasan medan magnet cukup terbatas misalnya besarnya medan magnet pada sumbu kumparan saja. Medan magnet diposisi yang lain tidak dibahas.

Pengukuran medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan sudah banyak dilakukan. Besarnya medan magnet pada sepanjang garis tengah kumparan, Gnanatilaka dan Fernando (2015) menggunakan kompas sebagai indikator nilai medan magnetnya. Dari pengukuran tersebut mereka mendapatkan bahwa medan magnetnya tidak seragam. Nilai medan magnet terkecil dijumpai di pusat kumparan. Semakin ke tepi, nilai medan magnetnya semakin besar. Karena itu dapat dipahami bahwa medan magnet di sekitar kumparan pada arah sumbu kumparan akan menurun sesuai dengan hasil pengamatan Graf, sedangkan pada arah garis tengah kumparan akan sejalan dengan hasil penelitian Fernando.

Penelitian yang dilakukan oleh Bambang (2007) tentang perhitungan medan magnet solenoida dengan formula multi lapis yang dikembangkan dari formula dua lapis dapat diterima sebagai sarana koreksi perhitungan satu lapis dan perbandingan hasil pengukuran, karena dapat menunjukkan distribusi medan magnet sesuai dengan kriteria yang dikehendaki sebagai lensa magnet. Penelitian yang dilakukan oleh Jerry Anggoro tentang pengukuran medan magnet akan semakin meningkat tergantung dari arus yang menimbulkannya dan posisi pengamatan. Penelitian yang dilakukan Fernando, Jerry dan Bambang tentang distribusi medan magnet sangat kurang karena hanya mengukur medan magnet di sekitar kumparan yang dialiri arus listrik. Matlab merupakan perangkat lunak produk dari The MathWorks.Inc yang memadukan kemampuan perhitungan, pencitraan, dan pemrograman dalam satu paket. Matlab merupakan bahasa komputasi teknik yang lebih mudah dan lebih canggih dalam penggunaannya dibandingkan dengan bahasa teknik pendahulunya.

Kelebihan Matlab jika dibandingkan dengan program lain adalah mudah dalam memanipulasi struktur matriks dan perhitungan berbagai operasi matriks yang meliputi penjumlahan, pengurangan, perkalian, invers dan fungsi matriks lainnya. Selain itu menyediakan fasilitas untuk memplot struktur gambar (kekuatan fasilitas grafik tiga dimensi yang sangat memadai, sehingga sering dilakukan penelitian dengan menggunakan Matlab.

Penelitian yang menggunakan Matlab diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh Sir Anderson (2015) tentang teknik grafik komputer dengan menggunakan program Matlab untuk menentukan kuantitas pergeseran kaki mesin dalam proses *Alignment*. Penelitian ini berhasil menggunakan Matlab grafiknya terbagi dalam bentuk 3 dimensi serta bisa juga dalam bentuk dua pandangan yaitu pandangan atas dan pandangan samping dalam 2 dimensi. Selain penelitian yang dilakukan oleh Sri, Muhammad Ali juga melakukan penelitian tentang pembelajaran perancangan sistem kontrol PID dengan *software* Matlab. Penelitian ini dapat mengembangkan metode pembelajaran materi perancangan sistem kontrol PID pada mata kuliah sistem kontrol dengan simulasi komputer sangat membantu mahasiswa dalam memahami materi secara keseluruhan. Matlab ini akan membantu dalam penelitian tentang "**Distribusi Medan Magnet pada Solenoid**".

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana distribusi medan magnet yang dihasilkan oleh solenoid dengan menggunakan Matlab?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis distribusi medan magnet pada solenoid.
2. Memahami penggunaan Matlab dalam distribusi medan magnet.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini data memberikan manfaat, antara lain :

- a. Sebagai informasi ilmiah tentang distribusi medan magnet pada solenoid.
- b. Sebagai informasi ilmiah untuk menjelaskan mekanisme penggunaan Matlab dalam distribusi solenoid.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Panjang kawat, jari jari kawat, dan jumlah lilitan sudah diketahui terlebih dahulu.
- b. Hanya membahas distribusi medan magnet DC.
- c. Jenis kawat diabaikan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab tinjauan pustaka akan dijelaskan tentang teori-teori penunjang yang berkaitan dengan penelitian. Ada pun uraian bab ini antara lain: 1) medan magnet, 2) hukum Bio dan Savart, 3) medan magnet pada kawat tak terhingga, 4) medan magnet pada Cincin 5) medan magnet pada pusat solenoid, 6) fluks magnetik, 7) perangkat lunak Matlab.

2.1 Medan Magnet

Pemahaman mengenai keberadaan magnet sudah disadari oleh banyak kalangan. Pembelajaran mengenai magnet berkembang dari pengamatan bahwa ada satu batuan tertentu yang dapat menarik potongan besi kecil-kecil. Fenomena adanya magnetisme berasal dari suatu daerah magnesia (asia kecil) dimana batuan itu ditemukan sekitar 2000 tahun yang lalu (Giancolli, 1998).

Setiap magnet dengan berbagai bentuk selalu memiliki dua kutub, kutub Utara dan kutub Selatan. Gaya yang dikerahkan oleh kutub magnet adalah yang paling besar. Walaupun gaya di antara dua kutub magnetik serupa dengan gaya di antara dua muatan listrik, terdapat suatu perbedaan penting di antara muatan listrik dan kutub magnetik, yakni kutub magnetik selalu muncul secara berpasangan. Hubungan antara listrik dan magnet belum diketahui hingga abad ke-19, ketika Hans Christian Oersted menemukan bahwa arus listrik mempengaruhi kedudukan jarum kompas. Percobaan berikutnya yang dilakukan oleh Andre-Marie Ampere dan yang lainnya menunjukkan bahwa arus listrik menarik serpihan besi dan arus sejajar akan saling tarik menarik. Ampere menyarankan model teori magnet modern yakni sebagai sumber dasar magnet bukanlah kutub magnetik akan tetapi arus listrik. Selain itu juga menyimpulkan bahwa magnet permanen diakibatkan oleh penyearahan simpal arus molekuler di dalam suatu bahan (Tipler,P.A., 2001:210).

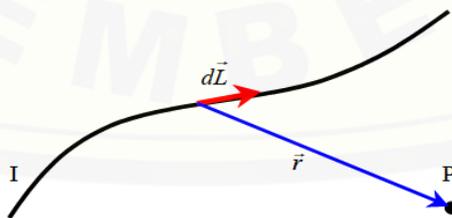
Medan magnet adalah suatu medan yang dibentuk dengan menggerakkan muatan listrik (arus listrik) yang menyebabkan munculnya gaya di muatan listrik yang bergerak. Interaksi magnetik dasar merupakan gaya magnetik satu muatan yang bergerak yang dikerahkan pada muatan bergerak lainnya. Gaya magnetik itu dipindahkan oleh sesuatu yakni medan magnetik. Muatan yang bergerak menghasilkan medan magnetik, dan medan ini selanjutnya mengerahkan suatu gaya pada muatan bergerak lainnya. Medan magnet di dalam ruang dapat ditunjukkan dengan mengamati pengaruh yang ditimbulkan. Jika muatan q memiliki kecepatan \vec{v} dalam medan magnetik, akan terdapat gaya yang bergantung pada q , besar kecepatan dan arahnya. Dengan kata lain apabila suatu muatan q bergerak dengan kecepatan \vec{v} dalam medan magnetik \vec{B} , gaya magnetik \vec{F} pada muatan adalah:

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B} \quad (2.2)$$

(Tipler, P.A., 2001:211)

2.2 Hukum Bio dan savart

Besarnya medan magnet di sekitar arus listrik dapat ditentukan dengan hukum Biot-Savart. Sebuah kawat konduktor yang dialiri arus I dengan elemen kecil kawat tersebut yang memiliki panjang $d\vec{l}$. Arah $d\vec{l}$ sama dengan arah arus. Elemen kawat tersebut dapat dinyatakan dalam notasi vektor, untuk menentukan medan magnet pada posisi P dengan vektor posisi \vec{r} terhadap elemen kawat.



Gambar 2.1 menentukan kuat medan magnet yang dihasilkan oleh elemen kawat

(Dr Eng.Mikkrajuddin Abdullah, M.si,2006)

Kuat medan magnet di titik P yang dihasilkan oleh elemen $d\vec{L}$ diberikan oleh hukum Bio Savart yakni

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{d\vec{L} \times \vec{r}}{r^3} \quad (2.3)$$

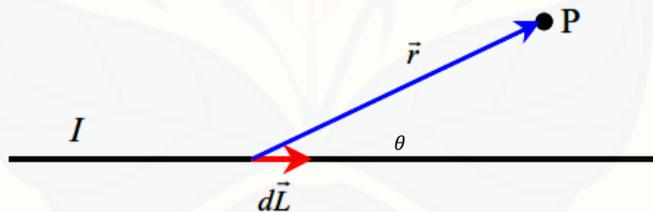
Dengan μ_0 disebut permeabilitas magnetik vakumm yakni $4\pi \times 10^{-7} \text{Tm/A}$

Medan total di titik P yang dihasilkan oleh kawat diperoleh dengan mengintegral persamaan

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \int \frac{d\vec{L} \times \vec{r}}{r^3} \quad (2.4).$$

2.3 Medan Magnet di Kawat Lurus Tak Terhingga

Medan magnet yang dihasilkan kawat lurus tak berhingga dimudahkan oleh arah vektor $d\vec{L}$, \vec{r} yang selalu tetap, yaitu mengikuti arah kawat.



Gambar 2.2 Menentukan kuat medan yang dihasilkan oleh elemen kawat lurus panjang

(Dr Eng.Mikkrajuddin Abdullah, M.si,2006)

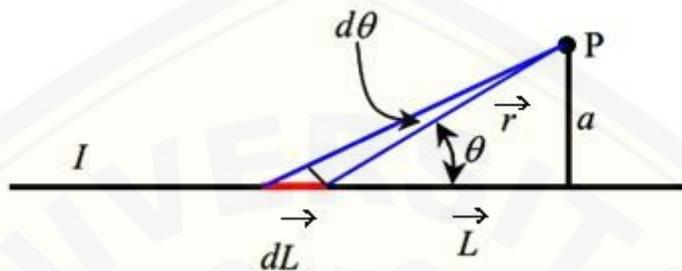
Titik P berjarak a dari kawat (arah tegak lurus). Dengan aturan perkalian silang maka

$$|d\vec{L} \times \vec{r}| = dL r \sin \theta \quad (2.5)$$

Dengan θ adalah sudut vektor $d\vec{L}$ dan \vec{r} . Dengan demikian, besar medan magnet yang dihasilkan vektor $d\vec{L}$ adalah

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{d\vec{L} \times \vec{r}}{r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{dL r \sin \theta}{r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{dL \sin \theta}{r^2} \quad (2.6)$$

Persamaan (2.4), baik $d\vec{L}$ dan r maupun $\sin\theta$ merupakan variabel, agar integral dapat dikerjakan maka ruas kanan hanya boleh mengandung 1 variabel. Oleh karena itu, harus menyatakan 2 variabel lain ke dalam salah satu variabel saja.



Gambar 2.3 Variabel variabel Integral persamaan

(Dr Eng.Mikkrajuddin Abdullah, M.si,2006)

Berdasarkan gambar diatas (2.4)

$$\sin \theta = \frac{a}{r}$$

$$\sin^2 \theta = \frac{a^2}{r^2}$$

$$\frac{1}{a^2} \sin^2 \theta = \frac{1}{r^2} \quad (2.7)$$

Untuk \vec{L}

$$\vec{L} = \frac{a}{\tan \theta} = a \frac{\cos \theta}{\sin \theta} \quad (2.8)$$

Selanjutnya mencari diferensial $d\vec{L}$ sebagai berikut. Dengan melakukan diferensial persamaan (2.8) diperoleh

$$\begin{aligned} d\vec{L} &= a \left[\frac{d \cos \theta}{\sin \theta} - \cos \theta \frac{d \sin \theta}{\sin^2 \theta} \right] \\ &= a \left[\frac{-\sin \theta d\theta}{\sin \theta} - \cos \theta \frac{\cos \theta d\theta}{\sin^2 \theta} \right] = -a \left[1 + \frac{\cos^2 \theta}{\sin^2 \theta} \right] d\theta = -a \frac{\sin^2 \theta + \cos^2 \theta}{\sin^2 \theta} d\theta \\ &= -a \frac{d\theta}{\sin^2 \theta} \quad (2.9) \end{aligned}$$

Substitusi r dan dL dari persamaan (2.7) dan (2.8) ke dalam persamaan (2.6) diperoleh

$$\begin{aligned} d\vec{B} &= \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{-a d\theta}{r^3} \frac{\sin^2 \theta}{a^2} \sin \theta \\ &= \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{\sin \theta d\theta}{a} \end{aligned}$$

Tampak bahwa persamaan dengan variabel θ sehingga dapat diintegral.

Kawat panjang tak berhingga, maka batas bawah adalah L mendekati $-\infty$ dan batas atas adalah L mendekati $+\infty$. Jika nilai $\tan \theta = \frac{a}{L}$, maka untuk L mendekati $-\infty$ diperoleh $\tan \theta = -0$ atau mendekati 180° dan maka untuk L mendekati $+\infty$ diperoleh $\tan \theta$ mendekati $+0$ atau 0° , sehingga batas bawah integral adalah 180° dan batas atas adalah 0 . Medan magnet total yang dihasilkan kawat adalah

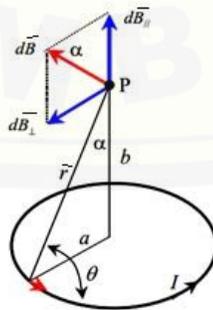
$$\vec{B} = -\frac{\mu_0 I}{4\pi a} \int_{180^\circ}^{0^\circ} \sin \theta d\theta \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi a} [-\cos \theta]_{180^\circ}^{0^\circ} \\ &= -\frac{\mu_0 I}{4\pi a} [-1 + (-1)] \\ &= \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \end{aligned} \quad (2.11)$$

2.4 Medan Magnet pada Cincin

Cincin adalah bentuk geometri lain yang dapat menentukan medan magnet dengan cukup mudah menggunakan hukum Bio-Savart, untuk menghitung kuat medan magnet sepanjang sumbu cincin yakni dimisalkan sebuah cincin dengan jari-jari a dialiri arus I . Kuat medan magnet sepanjang sumbu cincin pada jarak b dari pusat cincin. Berdasarkan gambar (2.4), besarnya medan magnet di titik P yang dihasilkan oleh elemen kering sepanjang $d\vec{L}$ adalah

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{L} \sin \theta}{r^2}$$



Gambar 2.4 Medan magnet di sumbu cincin yang dihasilkan oleh elemen pada cincin
(Dr Eng.Mikkrajuddin Abdullah, M.si,2006)

Tiap elemen kawat memiliki pasangan seberengnya (lokasi diametrik) di mana komponen tegak lurus sumbu mempunyai besar tapi arah tepat berlawanan. Kedua komponen tersebut saling meniadakan. Oleh karena itu, untuk menentukan kuat medan total dapat dilakukan integral pada komponen yang sejajar sumbu saja.

$$\vec{B} // = \int d\vec{B} \sin\alpha = \int \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{d\vec{l}}{r^2} \sin\alpha$$

$$\vec{B} = \int \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{1}{r^2} \sin\alpha (2\pi a)$$

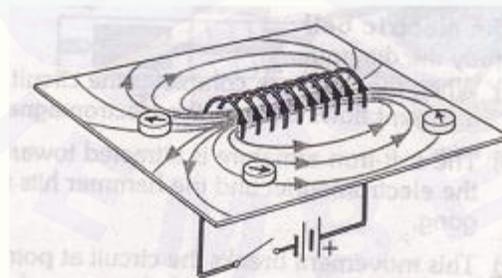
$$\vec{B} = \int \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{a^2}{r^2} \frac{1}{a} \sin\alpha (2\pi)$$

$$\text{Karena } \frac{a}{r} = \sin\alpha$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2a} I \sin^3\alpha \quad (2.12)$$

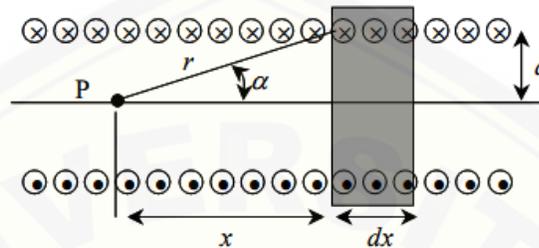
2.5 Induksi Medan Magnet di Pusat Solenoid

Solenoid adalah kawat yang berbentuk pegas. Panjang solenoid dianggap tak terhingga. solenoid dapat dipandang sebagai susunan cincin sejenis yang jumlahnya sangat banyak. Tiap cincin membawa arus I . Medan di dalam solenoid merupakan jumlah dari medan yang dihasilkan oleh cincin-cincin tersebut.



Gambar 2.5 Contoh Medan magnet yang dihasilkan solenoid
(Dr Eng.Mikkrajuddin Abdullah, M.si,2006)

Jika solenoid pada gambar (2.5) dibelah dua maka tampak penampang seperti pada gambar (2.6)



Gambar 2.6 Penampang solenoid jika dibelah dua
(Dr Eng.Mikkrajuddin Abdullah, M.si,2006)

Jumlah lilitan per satuan panjang adalah n . Pada elemen solenoid sepanjang dx . Jumlah lilitan dalam elemen ini adalah

$$dN = ndx \quad (2.13)$$

Elemen tersebut dapat dipandang sebagai sebuah cincin dengan besar arus

$$dI = IdN = Indx \quad (2.14)$$

Karena elemen tersebut dapat dipandang sebagai sebuah cincin, maka medan magnet yang dihasilkan di titik P memenuhi persamaan (2.12), dengan mengganti I pada persamaan (2.12) dengan dI pada persamaan (2.13)

$$\begin{aligned} d\vec{B} &= \frac{\mu_0}{2a} \frac{dI}{a} \sin^3 \alpha \\ &= \frac{\mu_0}{2a} \frac{dI n dx}{a} \sin^3 \alpha \end{aligned} \quad (2.15)$$

Pada gambar (2.6), untuk mencari dx

$$\begin{aligned} x &= \frac{a}{\tan \alpha} \\ dx &= - \frac{a d\alpha}{\sin^2 \alpha} \end{aligned} \quad (2.16)$$

Dengan memasukkan persamaan (2.15) ke persamaan (2.14).

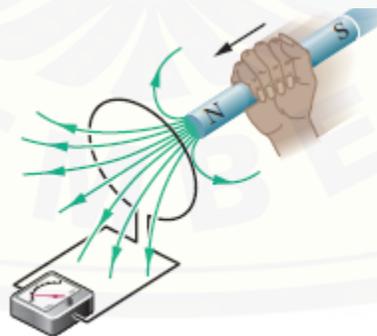
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{2} \frac{In}{a} \left(- \frac{a d\alpha}{\sin^2 \alpha} \right) \sin^3 \alpha = \frac{\mu_0}{2} In \sin \alpha d\alpha \quad (2.17)$$

Karena solenoid panjang tak berhingga, maka batas bawah adalah x mendekati $-\infty$ dan batas atas x mendekati $+\infty$. Dan $\tan \alpha = a/x$ maka untuk x mendekati $-\infty$ diperoleh $\tan \theta = -0$ atau mendekati 180° dan maka untuk x mendekati $+\infty$ diperoleh $\tan \theta$ mendekati $+0$ atau 0° . Batas bawah integral adalah 180° dan batas atas adalah 0° . Dengan demikian, medan magnet total di pusat solenoida

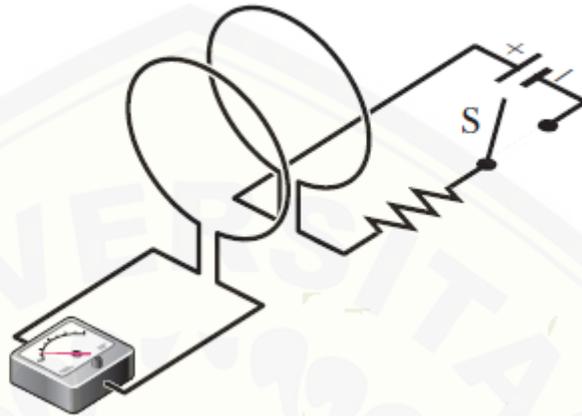
$$\begin{aligned}\vec{B} &= - \int_{180^\circ}^{0^\circ} \frac{\mu_0}{2} In \sin \alpha \, d\alpha = - \int_{180^\circ}^{0^\circ} \frac{\mu_0}{2} In \sin \alpha \, d\alpha \\ &= - \frac{\mu_0}{2} In [-\cos \alpha]_{180^\circ}^{0^\circ} = - \frac{\mu_0}{4\pi} In[-1 + (-1)] \\ \vec{B} &= \mu_0 n I\end{aligned}\tag{2.18}$$

2.6 Flux Magnetik

Faraday menyadari bahwa ggl dan arus dapat diinduksi dalam satu lingkaran, seperti pada eksperimen yang dilakukannya, dengan mengubah jumlah medan magnet melewati loop dapat divisualisasikan dalam dari garis-garis medan magnet melewati loop. hukum Faraday induksi, menyatakan percobaan pada gambar 2.8 Sebuah arus di kiri kawat lingkaran seperti saklar S ditutup (untuk menghidupkan arus dalam kanan kawat loop) atau dibuka (untuk mengubah off arus dalam loop kanan) tidak ada gerakan kumparan terlibat.



Gambar 2.7 Medan magnet di gerkan ke kumparan
(Halliday and resnick.2011)



Gambar 2.8 rangkaian dengan saklar S
(Halliday and resnick.2011)

Ggl diinduksi dalam lingkaran di sebelah kiri pada Gambar. 2.7 dan 2.8 saat jumlah garis medan magnet yang melewati loop berubah. Jumlah sebenarnya garis-garis medan yang melewati loop tidak masalah, nilai-nilai ggl induksi dan arus induksi ditentukan oleh tingkat jumlah flux yang berubah. Pada gambar 2.7, garis-garis medan magnet menyebar dari kutub utara magnet bergerak. Jumlah garis medan yang melewati peningkatan lingkaran. Hal ini menyebabkan elektron konduksi dalam lingkaran bergerak (arus induksi) dan memberikan energi (ggl yang diinduksi) untuk bergerak. ketika medan magnet berhenti bergerak, jumlah garis medan melalui loop tidak ada perubahan lagi. Untuk menempatkan hukum Faraday perlu cara untuk menghitung jumlah medan magnet yang melewati loop . Jumlah medan magnet yang melewati permukaan adalah penjelasan dari flux magnetik.

$$\phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (2.19)$$

(Sears and zemansky.2007)

2.7 Perangkat Lunak Matlab

Matlab adalah sebuah bahasa dengan (*high-performance*) kinerja tinggi untuk komputasi masalah teknik. Matlab mengintegrasikan komputasi, visualisasi, dan pemrograman dalam suatu model yang sangat mudah untuk pakai dimana masalah-masalah dan penyelesaiannya diekspresikan dalam notasi matematika yang familiar. Penggunaan Matlab meliputi bidang–bidang:

- Matematika dan Komputasi
- Pembentukan Algorithm
- Akusisi Data
- Pemodelan, simulasi, dan pembuatan prototipe

Matlab merupakan suatu sistem interaktif yang memiliki elemen data dalam suatu array sehingga tidak lagi kita dipusingkan dengan masalah dimensi. Hal ini memungkinkan kita untuk memecahkan banyak masalah teknis yang terkait dengan komputasi, khususnya yang berhubungan dengan matrix dan formulasi vektor, yang mana masalah tersebut merupakan momok apabila kita harus menyelesaikannya dengan menggunakan bahasa level rendah seperti Pascall, C dan Basic.

Matlab pada awalnya ditulis untuk memudahkan akses perangkat lunak matrik yang telah dibentuk oleh *linspack* dan *eispack*. Saat ini perangkat Matlab telah menggabung dengan *lapack* dan *blas* library, yang merupakan satu kesatuan dari sebuah seni tersendiri dalam perangkat lunak untuk komputasi matrix.

Fitur-fitur Matlab sudah banyak dikembangkan, dan lebih kita kenal dengan nama *toolbox*. Sangat penting bagi seorang pengguna Matlab, *toolbox* mana yang mendukung untuk *learn* dan *apply teknologi* yang sedang dipelajarinya. *Toolbox* toolbox ini merupakan kumpulan dari fungsi-fungsi Matlab (M-files) yang telah dikembangkan ke suatu lingkungan kerja Matlab untuk memecahkan masalah dalam kelas particular. Area-area yang sudah bisa dipecahkan dengan *toolbox* saat ini meliputi pengolahan sinyal, system kontrol, *neural networks*, *fuzzy logic*, *wavelets*, dan lain-lain. Sebagai sebuah *system*, Matlab tersusun dari 5 bagian utama:

1. *Development Environment* merupakan sekumpulan perangkat dan fasilitas yang membantu anda untuk menggunakan fungsi-fungsi dan file-file Matlab. Beberapa perangkat ini merupakan sebuah *graphical user interfaces (GUI)*. Termasuk didalamnya adalah Matlab desktop dan *Command Window, command history*, sebuah editor dan *debugger*, dan *browsers* untuk melihat *help, workspace, files*, dan *search path*.
2. Matlab Merupakan sekumpulan algoritma komputasi mulai dari fungsi-fungsi dasar seperti: *sum, sin, cos*, dan *complex arithmetic*, sampai dengan fungsi-fungsi yang lebih kompleks seperti *matrix inverse, matrix eigenvalues, Bessel functions*, dan *fast Fourier transforms*.
3. Matlab Language. Merupakan suatu *high-level matrix/array language* dengan *control flow statements, functions, data structures, input/output*, dan fitur-fitur *object-oriented programming*. Ini memungkinkan bagi kita untuk melakukan kedua hal baik "pemrograman dalam lingkup sederhana " untuk mendapatkan hasil yang cepat, dan "pemrograman dalam lingkup yang lebih besar" untuk memperoleh hasil-hasil dan aplikasi yang kompleks.
4. Graphics Matlab memiliki fasilitas untuk menampilkan *vector* dan *matrices* sebagai suatu grafik. Didalamnya melibatkan *high-level functions* (fungsi-fungsi level tinggi) untuk visualisasi data dua dimensi dan data tiga dimensi, *image processing, animation, dan presentation graphics*. Ini juga melibatkan fungsi level rendah yang memungkinkan bagi anda untuk membiasakan diri untuk memunculkan grafik mulai dari bentuk yang sederhana sampai dengan tingkatan *graphical user interfaces* pada aplikasi Matlab anda.
5. Matlab *Application Program Interface (API)*. Merupakan suatu library yang memungkinkan program yang telah anda tulis dalam bahasa C dan Fortran mampu berinteraksi dengan Matlab. Ini melibatkan fasilitas untuk pemanggilan routines dari Matlab (*dynamic linking*), pemanggilan Matlab sebagai sebuah *computational engine*, dan untuk membaca dan menuliskan MAT-files. (Krister Ahlersten.2012:8-9)

BAB 3. METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan diuraikan mengenai: 1) Tempat dan Waktu Penelitian, 2) Jenis penelitian, 3) variabel penelitian, 4) Alat, 5) Alur Penelitian, 6) Desain Simulasi Program Matlab.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Lanjut (Lab Lanjut) FKIP Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Jember pada tanggal 20 Juli 2016.

3.2 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini merupakan penelitian analitik yang dilakukan untuk menganalisa distribusi medan magnet pada solenoid.

3.3 Variabel Penelitian

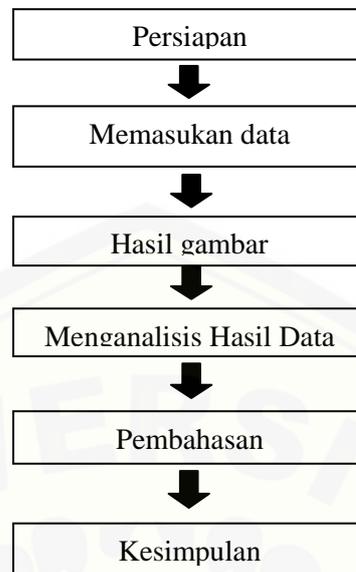
Setiap penelitian membutuhkan variabel. Variabel penelitian ini terdiri dari 2 yakni variabel terikat dan kontrol. Pada penelitian ini variabel bebas adalah jari-jari solenoid, banyaknya kumparan. Sedangkan variabel terikat adalah medan magnet yang dihasilkan.

3.4 Alat

Alat penelitian yang digunakan untuk mensimulasi distribusi medan magnet adalah computer Intel corei3 dan Matlab 2015a 64 bits.

3.5 Alur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Bagan Alur Penelitian

3.5.1 Persiapan

Tujuan dari persiapan ini adalah menyiapkan program Matlab dan menentukan panjang kawat, jari-jari solenoid, dan jumlah lilitan sehingga distribusi medan magnet bisa diketahui. Setelah persiapan sudah selesai jalankan program Matlab. Matlab ini digunakan untuk menghasilkan gambar distribusi medan magnet pada solenoid dengan memasukkan variabel bebas.

3.5.2 Memasukan data

Setelah Matlab dijalankan langkah selanjutnya adalah memasukkan data. Data yang akan digunakan adalah panjang kawat, jari-jari solenoid, dan jumlah lilitan. Setelah data dimasukkan, langkah selanjutnya adalah membuat gambar baik itu dengan contour, quiver atau pun surf.

3.5.3 Hasil Gambar

Langkah selanjutnya adalah menunggu hasil gambar. Setelah hasil gambar yang dihasilkan dengan memasukkan data keluar, gambar sudah siap untuk di analisa.

3.5.4 Menganalisa Gambar

Hasil gambar yang dihasilkan dalam penelitian ini terdapat 5 gambar. Gambar yang dihasilkan dianalisa dan dijelaskan secara rinci.

3.5.5 Pembahasan

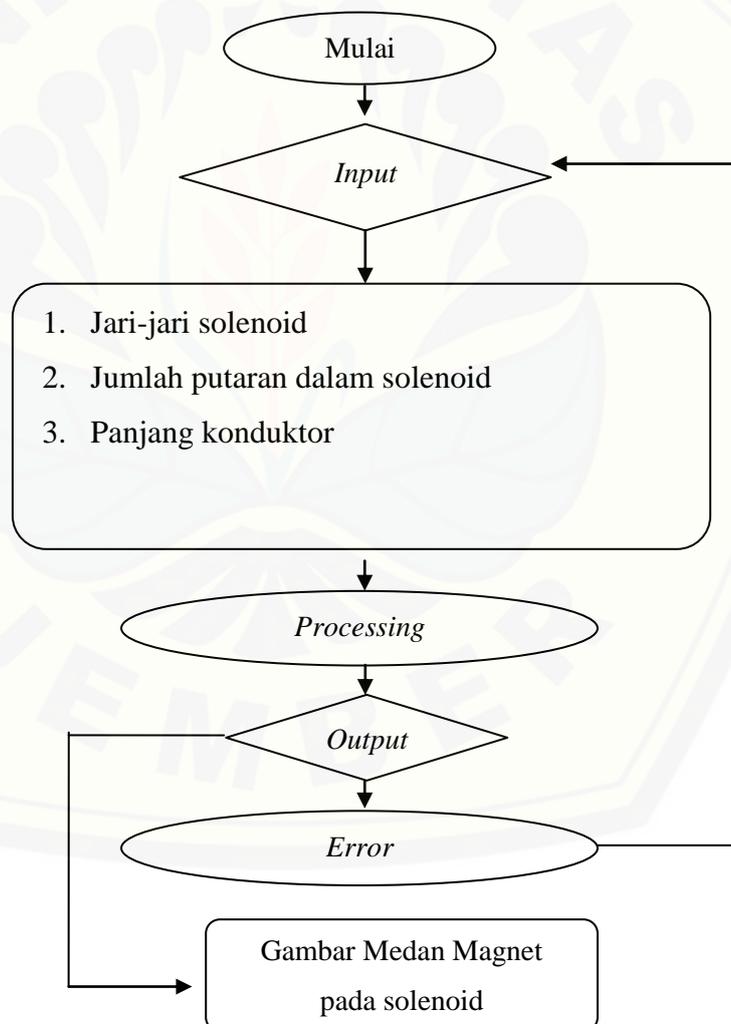
Jika analisis sudah dilakukan maka langkah selanjutnya membahas hasil gambar. Dalam pembahasan ini akan diuraikan hasil simulasi dan bagaimana distribusi medan magnet pada solenoid.

3.5.6 Kesimpulan

Langkah terakhir adalah membuat kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan hasil yang diperoleh.

3.6 Desain Simulasi Program Matlab

Adapun diagram simulasi *flow chart* pada penelitian ini adalah :



Gambar 3.2 Diagram *Flow Chart*

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa distribusi medan magnet pada solenoid dapat digambarkan dengan menggunakan Matlab. Medan magnet dari setiap lilitan saling memperkuat dan membentuk medan magnet menyeluruh solenoid. Di sebelah dalam solenoid, garis-garis fluks magnetik diberkas berdekatan dan lurus. Jarak antara semua garis itu sebenarnya sama. Di luar solenoid, garis-garis fluks magnetik membuka ke luar dan menutup kembali membentuk lingkaran tertutup yang memanjang. Kerapatan fluks magnetik di sebelah dalam solenoid dengan demikian jauh lebih besar dari pada di sebelah luarnya. Karena Medan magnet yang seragam dihasilkan pada pusat solenoid, sedangkan medan magnet yang terbentuk diluar solenoid lebih lemah dan divergen untuk meningkatkan medan magnet dari solenoid dapat ditambahkan inti pada bagian tengah kumparan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka saran yang dapat diajukan adalah:

- a. Matlab yang digunakan lebih baik Matlab yang mempunyai 64 bits. Hal ini karena proses hasil pemrograman lebih cepat 64 bits dibandingkan 32 bits.
- b. Pemahaman tentang medan manet pada solenoid harus matang agar dapat menjalankan program Matlab

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, Sri. 2015. *Teknik Grafik Komputer dengan Menggunakan Program Matlab untuk Menentukan Kuantitas Pergeseran Kaki Mesin dalam Proses Alignment*. Malang: Polinema
- Anggoro, Jerry. 2015. *Distribusi Medan Magnet di Sekitar Kumparan Berarus Listrik*. Yogyakarta :Universitas Sanata Dharma Paingan, Maguwohardjo Depok Sleman
- Ali, Muhammad. 2004. *Pembelajaran Perancangan Sistem Kontrol PID dengan Software Matlab*. Yogyakarta: UNY. Jurnal Edukasi@Elektro Vol. 1, No. 1, Oktober 2004, hlm. 1 – 8
- Ahlersten, Krister. 2012. *An Introduction on Matlab*. <http://bookboon.com/an-introduction-to-matlab.pdf> [10 Agustus 2016]
- Giancoli. 1998. *Fisika*. Penerbit: Erlangga Jilid 2ol 3 No 3 Desember 2014
- Griffiths, David J. 1999. *Electrodynamics*. USA: Parentice Hall, Inc
- H. G. Gnanatilaka and P. C. B. Fernando., 1987. *An investigation of the magnetic field in the plane of a circular current loop*. *American Journal of Physics*, vol 55, , pp.341-344.
- Mikkajuddin. 2006. *Diktat Kuliah Fisika Dasar II*. Bandung: ITB
- Sears and zemansky. 2007. *University Physics with Physics Modern*. New york: person addison wesly
- Supardiyono, Bambang, dkk. 2007. *Perhitungan Medan Magnet Solenoid Multi Lapis*. Yogyakarta: PTAPB –BATAN
- Tipler, P. A. 1998. *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid II (Terjemahan)*, Jakarta: Penerbit Erlangga Jilid II.

Lampiran

1. Input gambar 1

```

clc; clear; close all

ND = 7; % domain solenoid
Dom = [-11;
      -1 1;
      0.1 6]; % batassumbu x y dan z

gamma = 1;

ds = 0.1;

% Solenoid
L = [-.5 0 0;
     -.5 0 4;
     1.5 0 4];
theta = linspace(0, 15*pi, 70);
L = [cos(theta') sin(theta') theta'/10];

NI = numel(L)/3; % titik-titik pada kurva
% induktansi dari medan magnet B
U = zeros(ND, ND, ND);
V = zeros(ND, ND, ND);
W = zeros(ND, ND, ND);
% volume gambar
[X, Y, Z] = meshgrid(linspace(Dom(1,1), Dom(1,2), ND), ...
                    linspace(Dom(2,1), Dom(2,2), ND), ...
                    linspace(Dom(3,1), Dom(3,2), ND));
% Bio savart pada solenoid
Wait = waitbar(0, 'Integrating, please wait...');
for i = 1:ND
    for j = 1:ND
        for k = 1:ND
            waitbar(sub2ind([ND ND ND],k,j,i)/ND/ND/ND, Wait)
% Ptest digunakan untuk menghitung induksi
pTest = [X(i,j,k) Y(i,j,k) Z(i,j,k)];
% mengubah db menjadi B
for pCurv = 1:NI-1
% panjang kurva
len = norm(L(pCurv,:) - L(pCurv+1,:));
Npi = ceil(len/ds);
if Npi < 3
    close(Wait);
    error('Integration step is too big!!')
end
% kurva tiap elemen
Lx = linspace(L(pCurv,1), L(pCurv+1,1), Npi);
Ly = linspace(L(pCurv,2), L(pCurv+1,2), Npi);
Lz = linspace(L(pCurv,3), L(pCurv+1,3), Npi);
for s = 1:Npi-1

```

```

%dihubngkanptestdengankurva element
Rx = Lx(s) - pTest(1);
Ry = Ly(s) - pTest(2);
Rz = Lz(s) - pTest(3);
% komponen kurva - elemen sangat kecil

dLx = Lx(s+1) - Lx(s);
dLy = Ly(s+1) - Ly(s);
dLz = Lz(s+1) - Lz(s);
% Modules
dL = sqrt(dLx^2 + dLy^2 + dLz^2);
R = sqrt(Rx^2 + Ry^2 + Rz^2);
dU = gamma/4/pi*(dLy*Rz - dLz*Ry)/R/R/R;
dV = gamma/4/pi*(dLz*Rx - dLx*Rz)/R/R/R;
dW = gamma/4/pi*(dLx*Ry - dLy*Rx)/R/R/R;

U(i,j,k) = U(i,j,k) + dU;
V(i,j,k) = V(i,j,k) + dV;
W(i,j,k) = W(i,j,k) + dW;
end
end
end
end
end
close(Wait);

figure(1)
M=sqrt(U.^2+V.^2+W.^2);
subplot 121
title('Normalized field')
quiver3(X,Y,Z,U./M,V./M,W./M), hold on, axis equal, grid off
plot3(L(:,1),L(:,2),L(:,3),'r-o','linewidth',3)

```

2. Input gambar 2

```

clear all;
clc;

ln = 20;          % panjang konduktor
d = 2;           % jarak konduktor m dan n
m = 1;           % arah arus, m (kanan)... 1(masuk), -1(keluzr)
n = -1;          % arah arus, n (kekiri)...
N = 20;          % Jumlah bagian / elemen dalam konduktor

dl = ln/N;       % panjang tiap lilitan

% XYZ Koordinat / Lokasi dari setiap elemen dari asal ( 0,0,0 ) , misal 'd / 2 ' diambil sebagai asal

xCm = (d/2)*ones(1,N); % Konduktor m terletak @ + d / 2
xCn = (-d/2)*ones(1,N); % Konduktor n terletak @ + d / 2

yC = (-ln/2+dl/2) : dl : (ln/2-dl/2); % Y Koordinat setiap elemen dari asal , setengah dari + Y &
setengah lainnya pada Y % % dan juga sama untuk kedua konduktor

% zC tetap 0 sepanjang panjang , sebagai konduktor di XY
zC=zeros(1 , N ) ;

% Panjang ( Proyeksi ) & Arah setiap elemen dalam bentuk Vector
Lx = zeros(1,N); % panjan elemen di sumbu x
Ly = dl*ones(1,N); % panjang elemen di sumbu y
Lz = zeros(1,N); % Panjang setiap elemen adalah nol pada sumbu Z

% Tempat di mana B adalah untuk dihitung

NP = 125;        % Detector points..
xPmax = 3*d;     % Dimensi ruang detektor
zPmax = 2.5*d;

xP = linspace(-xPmax,xPmax,NP);
zP = linspace(-zPmax,zPmax,NP);
[xxP zzP] = meshgrid(xP,zP); % Creating the Mesh..

% Initialize B..
Bx = zeros(NP,NP);
By = zeros(NP,NP);
Bz = zeros(NP,NP);

% Perhitungan Magnetic Field ( B ) menggunakan prinsip superposisi ..
% Hitung B pada setiap detektor poin
for q = 1:N
    rxm = xxP - xCm(q); % Perpindahan Vector sepanjang arah X , dari m
    rxn = xxP - xCn(q); % Perpindahan Vector sepanjang arah X , dari n
    ry = yC(q);
    rz = zzP - zC(q);
    rm = sqrt(rxm.^2+ry.^2+rz.^2); % Perpindahan medan magnet pada m

    rn = sqrt(rxn.^2+ry.^2+rz.^2); % Perpindahan medan magnet pada n

```

```

r3m = rm.^3;
r3n = rn.^3;

% dl X r
% B = K -----
% r^3
% | i j k | | i j k |
% dl X r = |Lx Ly Lz | = | 0 Ly 0 | = i(Ly.rz-0) - j(0-0) + k(0 - Ly.rx)
% |rx ry rz | |rx ry rz |

% Hence, Bx = Ly.rz/r^3, By = 0, Bz = -Ly.rx/r^3
Bx = Bx + m*Ly(q).*rz./r3m + n*Ly(q).*rz./r3n; % m & n, direction of current element..
By = 0;
Bz = Bz - m*Ly(q).*rxm./r3m - n*Ly(q).*rxn./r3n;
end
B = sqrt(Bx.^2 + By.^2 + Bz.^2); % Magnitude of B..
B = B/max(max(B)); % Normalizing...

figure(1);
surf(xxP,zzP,B,'FaceColor','interp',...
'EdgeColor','none',...
'FaceLighting','phong');
daspect([1 1 1]);
axis tight;
view(0,30);
camlight right;
colormap(jet);
grid off;
axis off;
colorbar;
title('Distribusi medan magnet');

figure(2);
contour(xxP,zzP,B);
daspect([1 1 1]);
axis tight;
view(0,30);
camlight right;
colormap(jet);
grid off;
axis off;
colorbar;
title('Distribusi medan magnet');

```