



UNIVERSITAS INDONESIA

**POTENSI MEDAN ELEKTROMAGNETIK SEBAGAI
SUMBER PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK**

SKRIPSI

**RIKI MARDIANSYAH
0906603045**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**POTENSI MEDAN ELEKTROMAGNETIK SEBAGAI
SUMBER PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

**RIKI MARDIANSYAH
0906603045**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Riki Mardiansyah

NPM : 0906603045

Tanda Tangan : *Riki*

Tanggal : 13 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh,

Nama : Riki Mardiansyah

NPM : 0906603045

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Potensi Medan Elektromagnetik Sebagai Sumber Pembangkit Tenaga Listrik

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

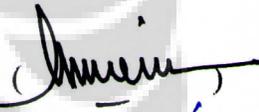
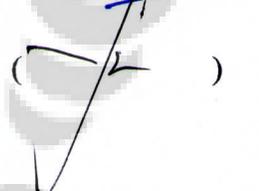
Pembimbing : Ir. Amien Rahardjo, MT.

Penguji : Prof. Dr. Ir. Rudy Setiabudy, DEA.

Penguji : Prof. Dr. Ir. Iwa Garniwa MK, MT.

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 13 Juni 2012

()
()
()

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya penulis bisa menyelesaikan skripsi ini dengan judul “**Potensi Medan Elektromagnetik Sebagai Sumber Pebangkit Tenaga Listrik**”.

Tidak sedikit hambatan dan rintangan yang penulis hadapi dalam penyusunan skripsi ini, namun berkat doa dan dukungan dari berbagai pihak yang telah memberikan bantuan, saran dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Amien Rahardjo, MT. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran selalu memberi penjelasan kepada penulis
2. Orang tua saya tercinta, kakak, adik dan keluarga besar yang selalu mendukung dan memberikan semangat secara materil dan moral.
3. untuk semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga Allah membalas semua kebaikan dari semua pihak yang telah membantu terselesaikannya penulisan skripsi ini.

Depok, Juni 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Riki Mardiansyah
NPM : 0906603045
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Potensi Medan Elektromagnetik Sebagai Sumber Pembangkit Tenaga Listrik

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media / format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 13 Juni 2012

Yang Menyatakan



(Riki Mardiansyah)

Riki Mardiansyah
NPM : 0906603045

Dosen Pembimbing
Ir. Amien Rahardjo, MT.

Departemen Teknik Elektro

**POTENSI MEDAN ELEKTROMAGNETIK SEBAGAI
SUMBER PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK**

ABSTRAK

Medan magnet adalah ruang disekitar magnet dimana tempat benda-benda tertentu mengalami gaya magnetik. Gaya magnetik dapat ditimbulkan oleh benda-benda yang bersifat magnet. Di samping itu, gaya magnet juga dapat timbul karena adanya arus listrik yang mengalir pada suatu penghantar. Medan magnet yang timbul disekitar arus listrik dapat dimanfaatkan atau disadap melalui rangkaian solenoida. Proses penyadapan ini didasari adanya proses tegangan induksi elektromagnetik oleh solenoida. Dalam proses penyadapan menggunakan solenoida akan dihasilkan tegangan sadap. Nilai tegangan sadap yang dihasilkan oleh solenoida tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu jarak antara sumber medan magnet terhadap solenoida, besarnya medan magnet pada sumber, permeabilitas magnetik bahan solenoida dan jumlah lilitan solenoida serta luas penampang solenoida. Dengan pertimbangan beberapa faktor tersebut, penulis merancang sebuah solenoida yang baik, dengan harapan medan magnet yang ada di lingkungan sekitar dapat dimanfaatkan secara optimal. Tegangan sadap yang terbesar diperoleh dari jarak yang terdekat dengan sumber medan magnet, jumlah lilitan, menggunakan inti besi dan memperluas penampang solenoida. Tegangan sadap terbesar yang dihasilkan ialah 8.52 Volt dan dapat digunakan pada aplikasi sederhana seperti menyalakan lampu LED.

Kata Kunci : Medan Elektromagnetik, medan magnet, permeabilitas magnetik, solenoida, tegangan induksi

Riki Mardiansyah
NPM : 0906603045

The Lecturer of Consultant
Ir. Amien Rahardjo, MT.

Departemen Teknik Elektro

THE POTENTIAL OF ELECTROMAGNETIC FIELDS FOR SOURCE OF POWER PLANTS

ABSTRACT

Magnetic field is the space around a magnet where the place of certain objects having magnetic force. Magnetic force can be caused by objects with magnetic. In addition, the magnetic force also arises because of the electric current following in a conductor. Magnetic field arising around an electric current can be exploited or tapped through a circuit solenoid. Tapping process is based on a process of induced voltage electromagnetic solenoid. In the process of tapping using a solenoid, will be generated a voltage tap. Tapping the voltage value generated by the solenoid is influenced by several factor, that is the distance between the source of the magnetic field of the solenoida, the magnitude of the magnetic field on the source, permeability magnetic material solenoid dan the number of solenoid coil and the sectional area of the solenoid. With consideration of several factors, the authors designed a solenoid with the expectation magnetic field environment around can be used optimally. The biggest voltage tap can be got from the closest area to source of magnetic field, number of solenoid coil, using iron core and increasing sectional area of the solenoid. the biggest voltage tap results is 8.52 Volt and can be used in simple application, such a turning on the LED

Key Words : Electromagnetic field, magnetic field, permeability magnetic, solenoid, induction voltage

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penulisan.....	1
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Metode Penulisan.....	2
1.5. Sistematika Penulisan	2
BAB II DASAR TEORI	
2.1. Medan Magnet	3
2.1.1. Medan Magnet di Sekitar Arus Listrik	4
2.1.2. Hukum Ampere.....	5
2.1.3. Medan Magnet pada Kawat Lurus Berarus Panjang.....	6
2.1.4. Medan Magnet pada Kawat Melingkar Berarus	8
2.1.5. Medan Magnet pada Solenoida dan Toroida	9
2.1.6. Fluks Magnet (Φ).....	10
2.2. Gaya Gerak Listrik.....	11
2.3. Induksi Elektromagnet	12
2.4. Tegangan Induksi.....	13
2.5. Permeabilitas	14
2.6. Rangkaian (Sirkuit) Magnetik	17
2.7. Transformator	18
BAB III PERANCANGAN SOLENOIDA PENYADAP MEDAN ELEKTROMAGNET	
3.1. Perancangan Solenoida	20
3.2. Spesifikasi Konstruksi Kerangka Solenoida Pertama.....	20
3.3. Spesifikasi Konstruksi Kerangka Solenoida Kedua	21
3.4. Proses Penggulungan	22
3.5. Solenoida Tanpa Inti dan Dengan Inti	23
3.6. Hasil Rancangan Solenoida	25
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS RANCANGAN	
4.1. Diagram Blok Sistem Penyadapan Potensi Medan Elektromagnet	27

4.2. Pengujian.....	29
4.3. Aplikasi Penyadapan Potensi Medan Elektromagnet pada Solenoida.....	35
BAB V KESIMPULAN	
5.1. Kesimpulan	39
DAFTAR REFERENSI	41



DAFTAR GAMBAR

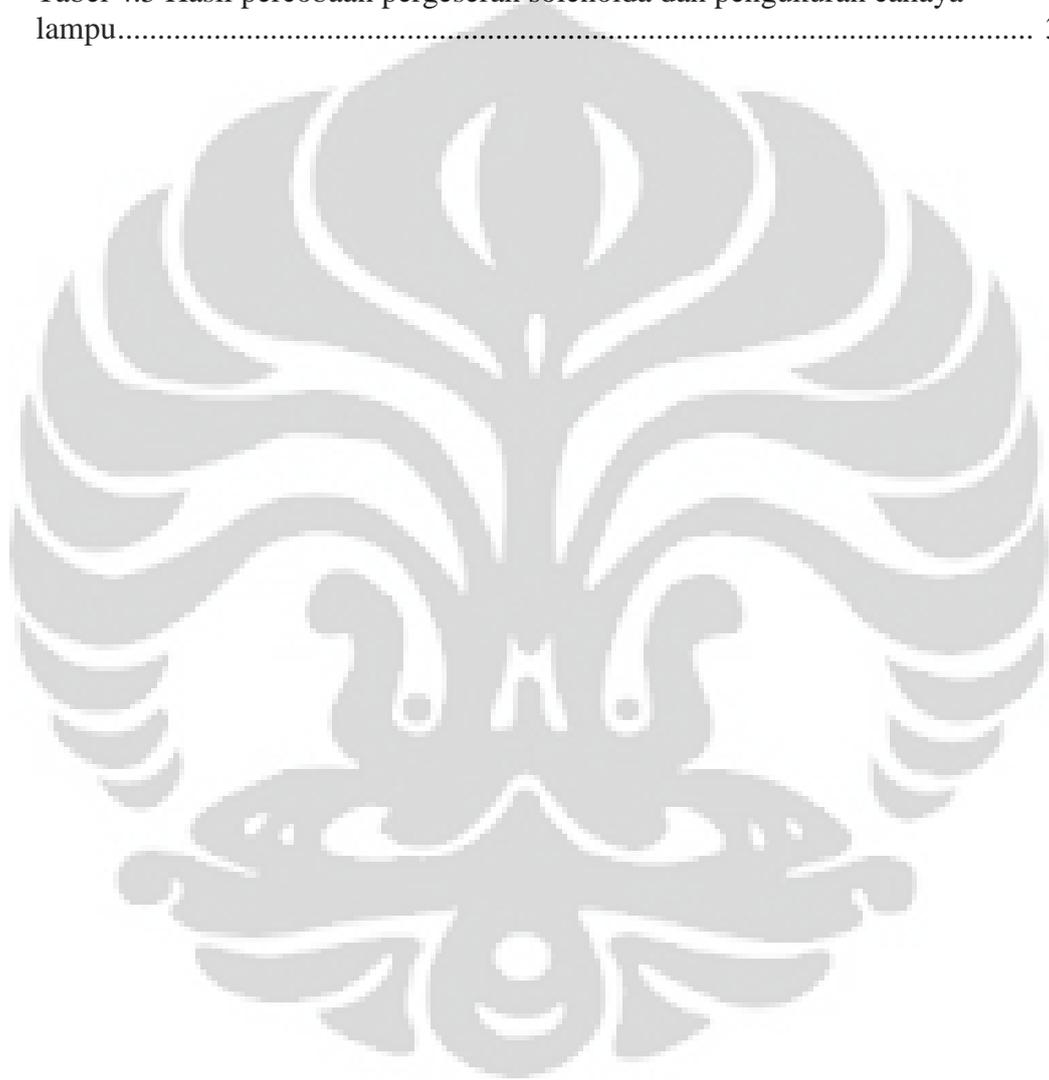
Gambar 2.1	Garis medan magnet batang sederhana	3
Gambar 2.2	Gaya magnet pada batang magnet (magnet sederhana) permanen (a) dan (b) tarik-menarik (c) dan (d) tolak menolak	4
Gambar 2.3	Percobaan Oersted yang menunjukkan bahwa arus listrik menimbulkan medan magnet (a) saat saklar terbuka (b) saat saklar tertutup	5
Gambar 2.4	Aplikasi Hukum Ampere (a) satu penghantar (b) banyak penghantar	5
Gambar 2.5	Aturan tangan kanan menunjukkan arah arus dan medan magnet.	6
Gambar 2.6	Medan magnet disekitar kawat konduktor berarus	7
Gambar 2.7	Medan magnet pada pusat kawat melingkar	8
Gambar 2.8	Medan magnet pada sebuah solenoida	9
Gambar 2.9	Sebuah toroida ideal	10
Gambar 2.10	Sejumlah garis-garis medan magnetik yang menembus bidang permukaan	11
Gambar 2.11	Hukum tangan kanan Fleming	12
Gambar 2.12	Percobaan Faraday untuk membuktikan adanya induksi elektromagnetik	13
Gambar 2.13	Percobaan Faraday untuk menginduksikan medan elektromagnet	14
Gambar 2.14	Medan magnet dalam (a) udara (b) besi (c) bismuth	15
Gambar 2.15	Analogi sederhana (a) rangkaian listrik (b) rangkaian magnetik.	17
Gambar 2.16	Sebuah rangkaian magnetik pada sebuah inti besi	17
Gambar 2.17	Fluks pada Transformator	18
Gambar 3.1	Panjang kerangka solenoida pertama	20
Gambar 3.2	Diameter kerangka solenoida pertama	21
Gambar 3.3	Panjang kerangka solenoida kedua	21
Gambar 3.4	Diameter kerangka solenoida kedua	22
Gambar 3.5	Ilustrasi solenoida dengan N lilitan	23
Gambar 3.6	Inti besi berdiameter 2 cm	23
Gambar 3.7	Inti besi berdiameter 3 cm	24
Gambar 3.8	Solenoida tanpa inti	24
Gambar 3.9	Solenoida dengan inti	25
Gambar 3.10	Solenoida pertama	25
Gambar 3.11	Solenoida kedua	26
Gambar 4.1	Diagram blok sistem	27
Gambar 4.2	Alat ukur medan magnet Lutron Gu-3001	28
Gambar 4.3	Alat ukur multimeter Fluke	28
Gambar 4.4	Pengujian solenoida (tanpa inti) dengan sumber kipas angin	29
Gambar 4.5	Pengujian solenoida (dengan inti) dengan sumber kipas angin	30
Gambar 4.6	Hubungan antara medan magnet terhadap jarak	31
Gambar 4.7	Hubungan antara tegangan dengan jarak sumber medan magnet ..	32
Gambar 4.8	Hubungan tegangan pada solenoida 1 dengan inti dan tanpa inti ..	33
Gambar 4.9	Hubungan tegangan pada solenoida 2 dengan inti dan tanpa inti ..	33
Gambar 4.10	Hubungan antara tegangan pada solenoida terhadap jumlah lilitan	34

Gambar 4.11 Hubungan antara tegangan dengan dimensi solenoida dan sudut.....	35
Gambar 4.12 Diagram blok pemanfaatan hasil tegangan solenoida.....	36
Gambar 4.13 Rangkaian penyearah gelombang penuh dengan filter kapasitif..	36
Gambar 4.14 Aplikasi sederhana menyalakan lampu LED	36
Gambar 4.15 Aplikasi sederhana menyalakan LED senter.....	37



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Permeabilitas relatif bahan magnetik.....	16
Tabel 3.1 Spesifikasi masing-masing solenoida yang digunakan.....	22
Tabel 4.1 Hasil pengukuran solenoida pertama tanpa inti (kipas angin).....	30
Tabel 4.2 Hasil pengukuran solenoida kedua tanpa inti (kipas angin)	30
Tabel 4.3 Hasil pengukuran solenoida pertama dengan inti (kipas angin)	31
Tabel 4.4 Hasil pengukuran solenoida kedua dengan inti (kipas angin)	31
Tabel 4.5 Hasil percobaan pergeseran solenoida dan pengukuran cahaya lampu.....	37



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan bertumbuhnya kemajuan perekonomian dan perindustrian di dunia serta ditunjang oleh kemajuan teknologi yang sekarang ini, maka semua itu tidak akan lepas akan kebutuhan energi yang paling vital, yaitu energi listrik. Energi listrik dari waktu ke waktu akan semakin dirasakan aspek dan kegunaannya dalam kehidupan manusia sehari-hari. Bahkan kalau boleh dikatakan energi listrik merupakan energi yang paling utama untuk kelangsungan akan kebutuhan manusia. Untuk memenuhi kebutuhan akan energi listrik ini, maka dibangunlah saluran transmisi dan distribusi listrik untuk menyalurkan energi listrik dari pusat-pusat beban yang jaraknya cukup jauh.

Dalam hal penggunaan energi listrik baik pada saluran transmisi arus dan tegangan tinggi akan banyak dijumpai rugi-rugi daya (*energy losses*) berupa energi panas dan medan elektromagnetik, baik itu medan magnet dan medan listrik, yang berasal dari energi listrik yang disalurkan melalui kawat penghantar. Besar rugi-rugi daya yang timbul tersebut akan sangat dipengaruhi oleh besarnya tegangan dan arus yang mengalir pada kawat penghantar atau pada konduktor. Nilai dari energi listrik yang terbuang seperti medan elektromagnetik akan sangat bermanfaat sebagai sumber energi yang bisa dipakai untuk pemanfaatan daya listrik.

Berdasarkan uraian di atas maka pada skripsi ini akan dibahas mengenai cara pemanfaatan potensi energi medan elektromagnetik serta kemungkinan-kemungkinan penggunaannya dari potensi energi ini sebagai pembangkit daya listrik.

1.2. Tujuan Penulisan

Skripsi ini bertujuan untuk memanfaatkan potensi medan elektromagnetik dengan membuat rancangan sebuah solenoida untuk proses penyadapan energi elektromagnetik yang dapat dipakai untuk pemanfaatan daya listrik serta penggunaannya.

1.3. Batasan Masalah

Pada penulisan skripsi ini penulis melakukan pembatasan masalah dengan batasan sebagai berikut : cara merancang sebuah solenoida yang dapat digunakan pada proses penyadapan medan elektromagnet. Sumber medan magnet yang digunakan adalah sumber-sumber medan magnet yang ada disekitar kita, contohnya kipas angin.

1.4. Metode Penulisan

Dalam penyusunan laporan skripsi ini, digunakan beberapa metode, antara lain :

1. Metode Studi Literatur dan Observasi

Mengambil dan mengumpulkan teori-teori dasar dan teori pendukung dari berbagai sumber, buku-buku referensi dan situs-situs internet dan data-data yang ada dilapangan.

2. Metode Konsultasi

Melakukan konsultasi dan bimbingan dari dosen pembimbing dan dosen pengajar lain yang memiliki kemampuan pada materi ini.

1.5. Sistematika Penulisan

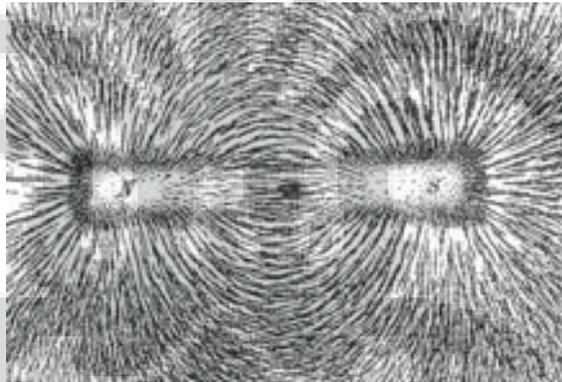
Penulisan skripsi ini disusun berdasarkan sistematika penulisan sebagai berikut :

Bab pertama berupa pendahuluan yang berkaitan dengan latar belakang, tujuan penulisan, batasan masalah, metode penulisan, serta sistematika penulisan. Bab kedua menjelaskan tentang dasar teori yang berkenaan dengan teori medan magnet, permeabilitas magnetik serta induksi elektromagnet yang menjadi dasar dan mendukung dalam penulisan skripsi ini. Bab ketiga menjelaskan tentang perancangan dan cara-cara yang dapat digunakan untuk pemanfaatan energi medan elektromagnetik untuk proses penyadapan tegangan pada sebuah solenoida. Bab keempat berisi diagram sistem penyadapan pada medan elektromagnet, pengujian alat, hasil serta pemanfaatan aplikasi sederhana dan pada Bab kelima berisi tentang kesimpulan.

BAB 2 DASAR TEORI

2.1. Medan Magnet

Medan magnetik adalah ruang disekitar magnet dimana tempat benda-benda tertentu mengalami gaya magnetik. Gaya magnetik dapat ditimbulkan oleh benda-benda yang bersifat magnetik dan juga arus listrik / muatan listrik yang bergerak. Magnet mempunyai dua kutub, yaitu utara (U) dan selatan (S). Medan magnetik dapat digambarkan dengan garis-garis gaya magnetik yang disebut spektrum magnetik. Garis gaya magnetik didefinisikan sebagai garis khayal yang merupakan lintasan kutub utara magnet-magnet kecil apabila dapat bergerak dengan bebas. Garis gaya magnetik selalu memancar dari kutub utara ke kutub selatan dan tidak pernah memotong, seperti terlihat pada gambar 2.1 dibawah ini :

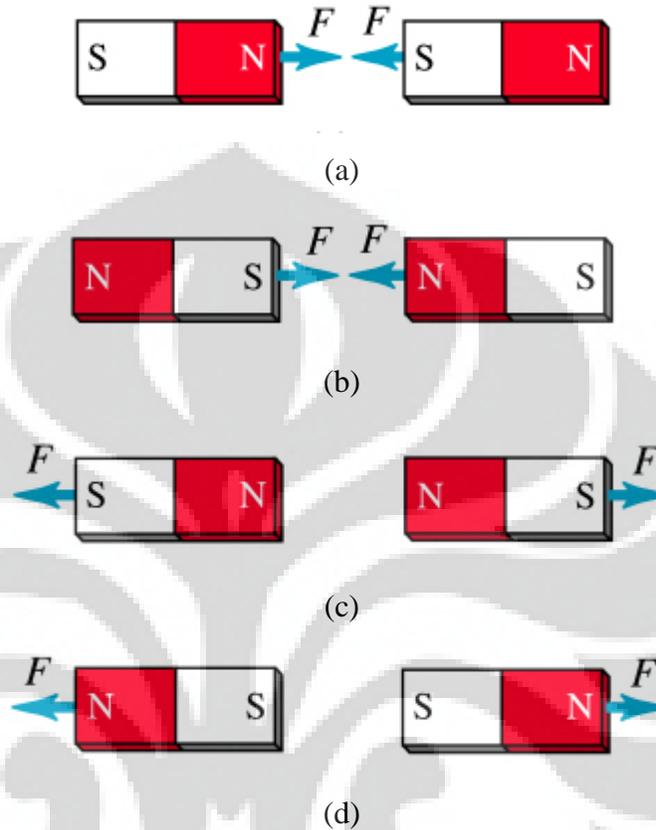


Gambar 2.1 Garis medan magnet batang sederhana

Garis gaya magnetik dianggap mempunyai karakteristik tertentu. Semua garis kekuatan medan magnet tersebut memiliki karakteristik sebagai berikut :

- a) Mulai pada kutub utara dan berakhir pada kutub selatan
- b) Kontinu dan selalu membentuk loop yang lengkung
- c) Tidak pernah memotong
- d) Cenderung memendek sendiri, karenanya garis gaya magnet diantara kutub yang berbeda menyebabkan kutub ditarik lebih dekat

- e) Melewati semua material magnet ataupun nonmagnet, selain itu, tidak ada isolator untuk kuat garis magnet.

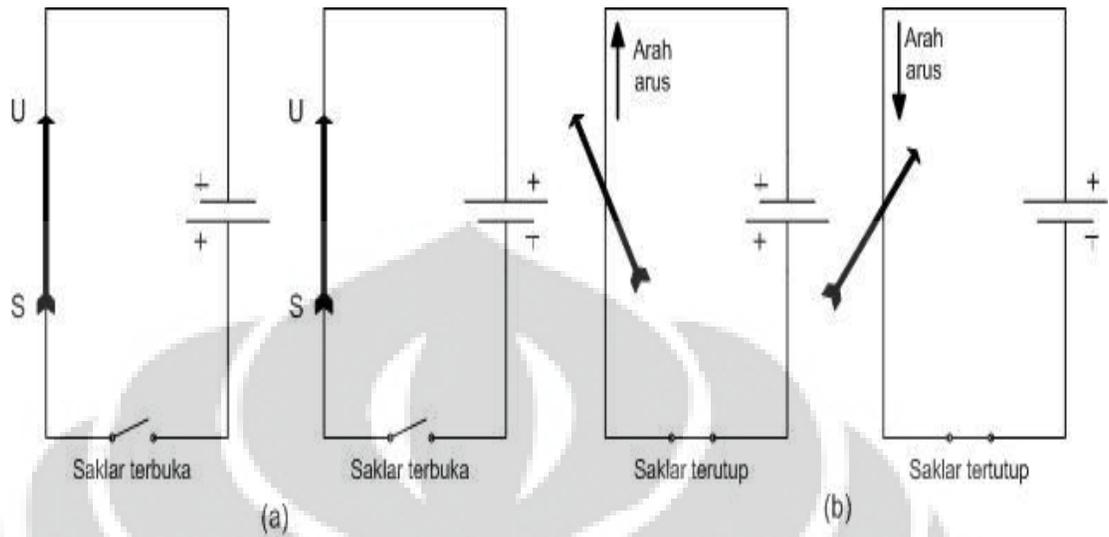


Gambar 2.2 Gaya magnet pada batang magnet (magnet permanen) permanen (a) dan (b) tarik-menarik (c) dan (d) tolak menolak

2.1.1. Medan Magnet di Sekitar Arus Listrik

Hans Christian Oersted melakukan percobaan untuk mengetahui adanya medan magnet akibat arus listrik dapat dilakukan dengan meletakkan jarum kompas dibawah kawat penghantar. Saat saklar terbuka, pada kawat tidak ada arus listrik yang mengalir dan jarum kompas pada posisi sejajar dengan kawat. Apabila saklar ditutup sehingga arus mengalir pada kawat penghantar, maka jarum kompas menyimpang. Simpangan jarum kompas tergantung arah arus pada kawat dan letaknya. Dari percobaan ini, disimpulkan bahwa disekitar penghantar berarus listrik timbul medan magnet.

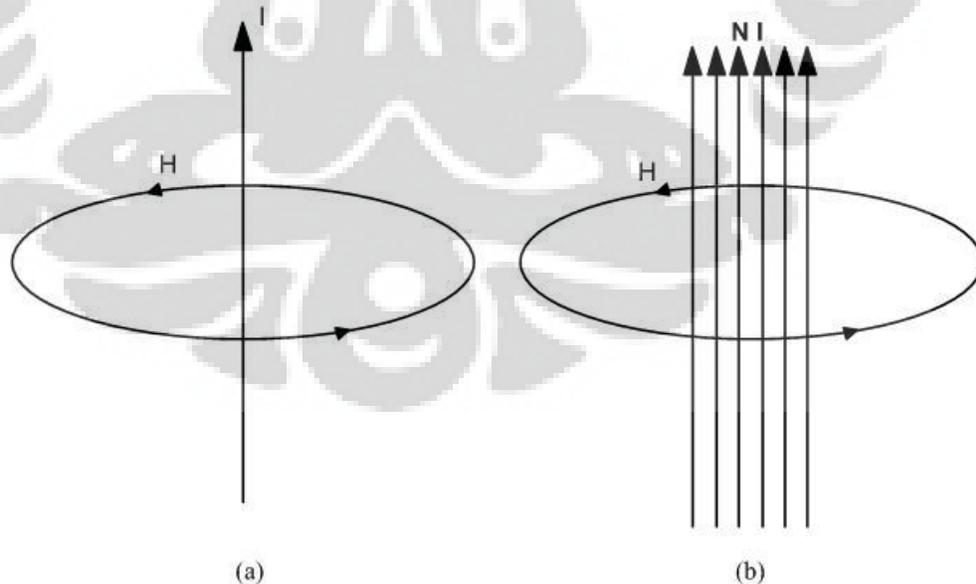
Percobaan Oersted terdapat pada gambar 2.3 dibawah ini :



Gambar 2.3 Percobaan Oersted yang menunjukkan bahwa arus listrik menimbulkan medan magnet. (a) saat saklar terbuka. (b) saat saklar tertutup

2.1.2 Hukum Ampere

Hukum Ampere menyatakan bahwa : “ Integral garis dari intensitas medan magnet yang diambil di sekeliling lintasan tertutup sama dengan total arus yang dilingkupi daerah yang dibentuk lintasa tertutup tersebut.”



Gambar 2.4 Aplikasi Hukum Ampere. (a) satu penghantar. (b) banyak penghantar

Medan magnet disekitar penghantar lurus berarus listrik berbentuk lingkaran sepusat dengan penghantar itu sebagai pusatnya. Untuk menentukan arah medan magnet dapat digunakan aturan tangan kanan. Arah medan magnet disekitar penghantar berarus listrik dapat dilihat pada gambar 2.4 dan diberikan persamaan secara matematis yaitu :

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{L} = I \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{L} = N I \dots\dots\dots (2.2)$$

$$H = N \frac{i}{2\pi r} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

H = intensitas medan magnet [A/m]

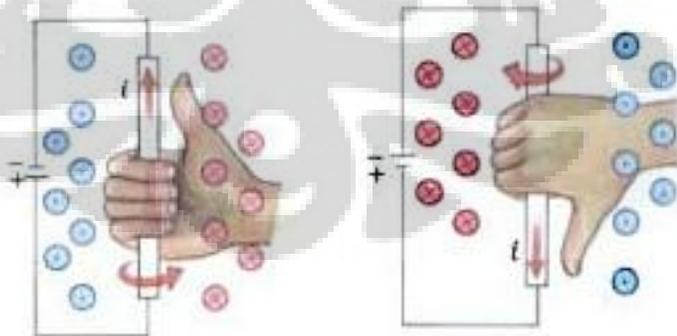
i = arus yang mengalir pada kawat [A]

N = banyaknya penghantar

r = jarak medan magnet dari pusat arus [m]

2.1.3 Medan Magnet pada Kawat Lurus Berarus Panjang

Arus listrik dapat menghasilkan medan magnet dan arah medan magnet dapat ditentukan dengan menggunakan aturan tangan kanan yang dinyatakan sebagai berikut : “ibu jari tangan kanan, menyatakan arah arus dan keempat jari lainnya yang menekuk menunjukkan arah medan magnet” seperti yang terlihat pada gambar 2.5 di bawah ini :



Gambar 2.5 Aturan tangan kanan menunjukkan arah arus dan medan magnet

Arah garis gaya medan magnet disekitar kawat konduktor membentuk lingkaran konsentris yang tegak lurus terhadap kawat konduktor yang berada di tengahnya. Medan magnet yang mengarah ke dalam (masuk bidang) disimbolkan dengan cross x, dan yang mengarah keluar (keluar bidang) disimbolkan dengan dot \cdot .

Besar medan magnet disebuah titik berbanding lurus dengan arus yang melewati kawat konduktor dan berbanding terbalik dengan jaraknya dari kawat konduktor tersebut. Besar medan magnet dalam medium disuatu titik dengan jarak r diberikan dengan persamaan sebagai berikut :

$$B = \mu H \dots\dots\dots (2.4)$$

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r i}{2\pi r} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

B = rapat medan magnet [Wb/m² atau Tesla]

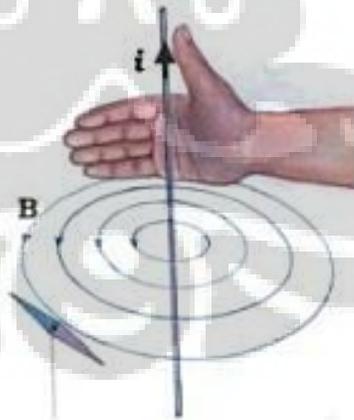
μ = permeabilitas bahan [T.m/A atau wb/A.m]

μ_r = permeabilitas relatif

μ_0 = permeabilitas udara [T.m/A atau wb/A.m]

i = arus yang mengalir pada kawat [A]

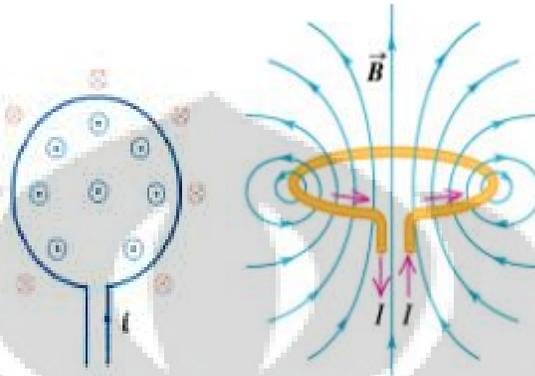
r = jarak dari kawat [m]



Gambar 2.6 Medan magnet disekitar kawat konduktor berarus

2.1.4. Medan Magnet pada Kawat Melingkar Berarus

Medan magnet juga dihasilkan di sekitar dan pada pusat dari kawat melingkar yang dialiri arus listrik, seperti yang terlihat pada gambar 2.7 dibawah ini :



Gambar 2.7 Medan magnet pada pusat kawat melingkar

Besar medan magnet pada pusat kawat yang melingkar berarus yang mempunyai jari-jari r , dengan arus i , diberikan dengan persamaan sebagai berikut :

$$B = \frac{\mu i}{2r} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r i}{2r} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

B = rapat medan magnet [Wb/m² atau Tesla]

μ = permeabilitas bahan [T.m/A atau wb/A.m]

μ_r = permeabilitas relatif

μ_0 = permeabilitas udara [T.m/A atau wb/A.m]

i = arus yang mengalir pada kawat [A]

r = jarak dari kawat [m]

Jika kawat melingkar berarus mempunyai N lilitan, maka besar medan magnet meningkat N kali sehingga besar medan magnet pada pusat dari lingkaran dengan N lilitan diberikan dengan persamaan sebagai berikut :

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r i}{2r} N \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

N = banyaknya lilitan pada kawat melingkar

2.1.5. Medan Magnet pada Solenoida dan Toroida

Solenoida dibentuk dengan melilitkan kawat konduktor menjadi silinder. garis gaya magnet di dalam kumparan didistribusikan secara merata dan paralel pada sumbu koil atau kumparan. Medan magnet di luar kumparan sangat lemah dan tidak uniform. Sebuah medan magnet uniform yang dihasilkan solenoida dengan panjang l yang mempunyai lilitan N dan dialiri arus i diberikan oleh persamaan sebagai berikut :

$$B = \frac{\mu N i}{l} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r N i}{l} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

B = rapat medan magnet [Wb/m² atau Tesla]

μ = permeabilitas bahan [T.m/A atau wb/A.m]

μ_r = permeabilitas relatif

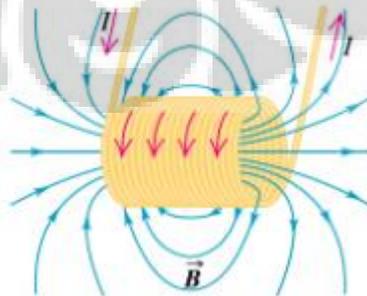
μ_0 = permeabilitas udara [T.m/A atau wb/A.m]

N = banyaknya lilitan pada solenoid

i = arus yang mengalir pada kawat [A]

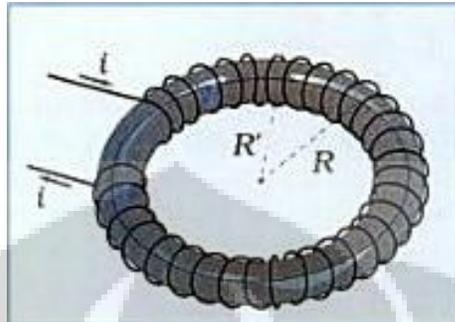
l = panjang batang solenoid [m]

Pada gambar 2.8 dibawah menunjukkan medan magnet pada sebuah solenoida



Gambar 2.8 Medan magnet pada sebuah solenoida

Jika kedua ujung seolenoida digabungkan, maka sebuah kumparan akan berbentuk seperti toroida yang ditunjukkan pada gambar 2.9 di bawah ini :



Gambar 2.9 Sebuah toroida ideal

Sebuah toroida ideal mempunyai kumparan yang rapat dan besar medan magnet nol di luar toroida. Medan Magnet di dalam kawat toroida mempunyai arah yang sama dan besarnya diberikan dengan persamaan sebagai berikut :

$$B = \frac{\mu N i}{2\pi r} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r N i}{2\pi r} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

- B = rapat medan magnet [Wb/m² atau Tesla]
- μ = permeabilitas bahan [T.m/A atau wb/A.m]
- μ_r = permeabilitas relatif
- μ_0 = permeabilitas udara [T.m/A atau wb/A.m]
- N = banyaknya lilitan pada toroida
- i = arus yang mengalir pada kawat [A]
- r = radius atau jari-jari pada kumparan [m]

2.1.6. Fluks Magnet (Φ)

Sejumlah garis-garis medan yang tegak lurus menembus bidang yang ditempatkan dalam sebuah medan magnet disebut fluks magnetik. Jika luas penampang A ditempatkan tegak lurus terhadap garis-garis medan magnet, maka besar fluks magnetiknya ialah :

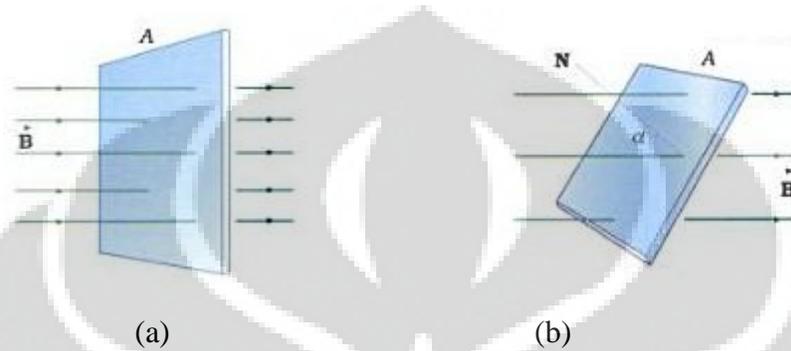
$$\Phi = B A \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

Φ = fluks magnet [Weber]

B = medan magnet [Wb/m^2]

A = luas bidang yang dilalui medan magnet [m^2]



Gambar 2.10 Sejumlah garis-garis medan magnetik yang menembus bidang permukaan (a) tegak lurus (b) membentuk sudut α

Jika permukaan tidak tegak lurus terhadap garis-garis medan magnet, maka fluks magnetik pada luar permukaan A adalah perkalian medan magnetik B dan luas permukaan A dan diproyeksikan ke arah medan, maka fluks magnetnya menjadi :

$$\Phi = B A \cos \alpha \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :

Φ = fluks magnet [Weber]

B = medan magnet [Wb/m^2]

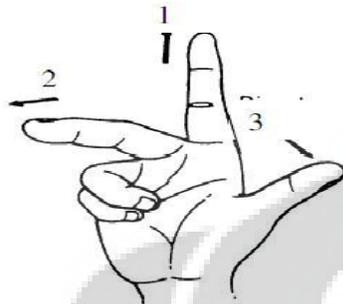
A = luas bidang yang dilalui medan magnet [m^2]

α = sudut antara garis normal dengan permukaan dan garis-garis medan magnet [°]

2.2. Gaya Gerak Listrik

Arah gaya gerak listrik yang terbangkit di dalam penghantar diantara medan magnet bervariasi mengikuti perubahan arah garis gaya magnet dan gerakan penghantar. Arah garis gaya magnet dapat dipahami dengan menggunakan hukum tangan kanan fleeming (Fleming's Right-Hand Rule), dalam kaidah ini digunakan ibu jari, jari telunjuk dan jari tengah tangan kanan dibuka dengan sudut yang tepat

satu sama lain. Jari telunjuk akan menunjukkan arah gerakan penghantar dan jari tengah menunjukkan arah gaya gerak listrik.



Keterangan:

1. *Direction of flux*
2. *Direction of current*
3. *Direction of motion*

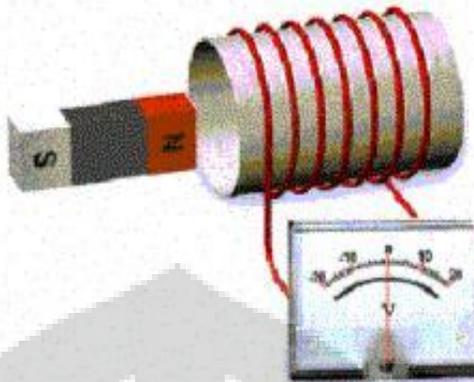
Gambar 2.11 Hukum tangan kanan Fleming

Besarnya gaya gerak listrik yang dibangkitkan pada saat penghantar memotong garis gaya magnet diantara medan magnet sebanding dengan banyaknya garis gaya magnet yang dipotong pada suatu satuan waktu dan gaya gerak listrik dalam satuan volt.

2.3. Induksi Elektromagnet

Induksi Elektromagnetik menjelaskan tentang suatu tegangan yang dapat diinduksikan ke dalam lilitan ketika garis gaya magnet memotong lilitan tersebut kemudian polaritas tegangan yang diinduksikan bergantung pada arah garis gaya magnet yang memotong lilitan.

Percobaan untuk membuktikan adanya induktansi elektromagnetik dilakukan dengan sebuah solenoid yang mempunyai lilitan dengan menggunakan inti udara, dimana kedua ujung solenoid dihubungkan pada terminal dari sebuah galvanometer. Dan sebuah magnet batang dimasukkan dalam koil, sedemikian hingga kutub S pada magnet memasuki koil pada sisi sebelah kiri. Arus yang terjadi dalam solenoid dapat membangkitkan medan magnet dengan kutub S solenoid pada sisi sebelah kiri.



Gambar 2.12 Percobaan Faraday untuk membuktikan adanya induksi elektromagnetik

Polaritas tegangan induksi dapat diramalkan oleh hukum Lenz, yang menyatakan bahwa polaritas dari tegangan yang diinduksikan dalam sebuah konduktor harus sedemikian rupa hingga medan magnet yang dibangkitkan dari hasil arus dalam konduktor akan berlawanan terhadap gerak induksi medan magnet.

2.4. Tegangan Induksi

Sebuah medan magnet dapat dihasilkan oleh kawat yang membawa arus. Seorang ilmuwan yaitu Michael Faraday menemukan efek dari kebalikannya yang dikenal sekarang ini dengan hukum "Faraday Law" yang berbunyi : " Jika fluks melewati gulungan kawat atau pada kumparan maka tegangan akan diinduksikan pada lilitan kumparan kawat yang berbanding lurus dengan laju perubahan fluks terhadap waktu." atau dituliskan sebagai :

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

e = tegangan induksi [Volt]

Φ = jumlah fluks magnet [weber]

Jika lintasan tertutupnya atau kumparan berbentuk konduktor filament yang terdiri dari N lilitan dan flux melewati semua kumparan maka seringkali cukup cermat untuk menganggap lilitan tersebut berimpit, sehingga persamaan tegangan induksi dituliskan sebagai:

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana :

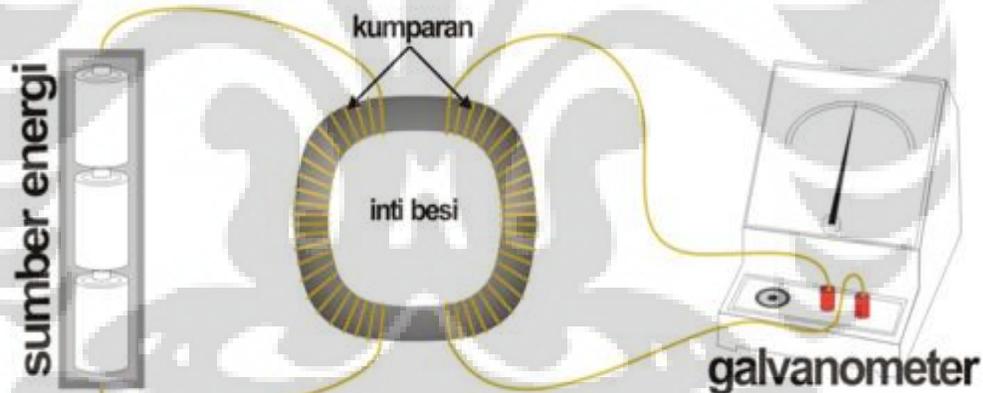
e = tegangan induksi [Volt]

Φ = jumlah fluks magnet [weber]

N = jumlah lilitan pada kumparan

Tanda minus menyatakan bahawa arah emf terinduksi sedemikian rupa sehingga mampu menghasilkan arus pada lintasan konduktor yang melawan fluks asal, yaitu Φ tadi. Adapun syarat lintasan tertutup tersebut haruslah memiliki tebal yang sangat tipis. Perubahan fluks bisa berasal dari gerak relative lintasan kawat, sumber fluks magnet, perubahan bentuk dan orientasi dari loop lintasan tersebut.

Faraday melakukan percobaan untuk menginduksi medan elektromagnet pada Gambar 2.13 dibawah ini :

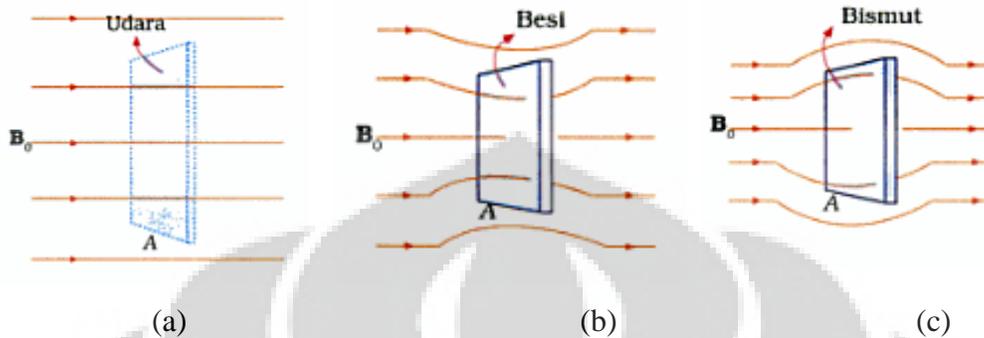


Gambar 2.13 Percobaan Faraday untuk menginduksikan medan elektromagnet

2.5. Permeabilitas

Permeabilitas (*permeability*) adalah kemampuan suatu benda untuk dilewati garis gaya magnet. Jika sebatang besi ditempatkan dalam medan magnet yang serba sama atau *uniform*, garis-garis medan saling mendekati, oleh karena itu fluks

magnetik yang melewati suatu permukaan akan bertambah seperti yang terlihat pada gambar 2.14 di bawah ini :



Gambar 2.14 Medan magnet dalam (a) udara, (b) besi, dan (c) bismuth

Permeabilitas dinyatakan dengan simbol μ . Benda yang mudah dilewati garis gaya magnet disebut memiliki permeabilitas tinggi. Permeabilitas udara dan ruang hampa dianggap sama dengan satu. Untuk benda-benda yang lain, besarnya permeabilitas ditentukan dengan perbandingan terhadap udara atau ruang hampa, didapatkan permeabilitas relatif (*relative permeability*). Nilai permeabilitas untuk udara adalah $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$.

Untuk menghitung μ , nilai permeabilitas relative μ_r harus dikalikan dengan permeabilitas udara μ_0 sehingga :

$$\mu = \mu_r \mu_0 \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana :

μ = permeabilitas bahan [T.m/A atau wb/A.m]

μ_r = permeabilitas relatif

μ_0 = permeabilitas udara [T.m/A atau wb/A.m]

Ditinjau dari permeabilitasnya, benda-benda dikelompokkan dalam tiga kelompok, yaitu :

- (a) Ferromagnetik yaitu benda yang memiliki permeabilitas jauh lebih besar dari satu. Benda-benda yang memiliki permeabilitas tinggi bila terletak didalam medan magnet, garis-garis gaya magnet cenderung lewat pada benda tersebut. Dengan demikian benda-benda ferromagnetic mudah ditarik oleh magnet dan

mudah dibuat magnet buatan. Contoh benda ferromagnetic antara lain ialah besi, baja, nikel, cobalt, logam paduan seperti alnico dan permalloy. Kutub magnet, inti transformator dan bagian-bagian yang berhubungan dengan kemagnetan dibuat dari bahan ferromagnetik.

- (b) Paramagnetik yaitu benda yang memiliki permeabilitas sedikit lebih besar dari satu. Benda-benda yang tergolong jenis ini tidak begitu kuat ditarik magnet dan bila terletak di dalam medan magnet, fluks yang mengalir didalamnya sama dengan fluks magnet yang mengalir di dalam udara biasa. Contoh benda paramagnetik antara lain ialah aluminium, khrom, mangan dan platinum.
- (c) Diamagnetik yaitu benda yang memiliki permeabilitas kurang dari satu. Benda-benda yang tergolong jenis ini sukar ditarik magnet dan bila terletak di dalam medan magnet cenderung dihindari oleh garis gaya magnet. Contoh benda diamagnetik antara lain ialah bismuth, antimony, tembaga, seng, merkuri, emas dan perak.

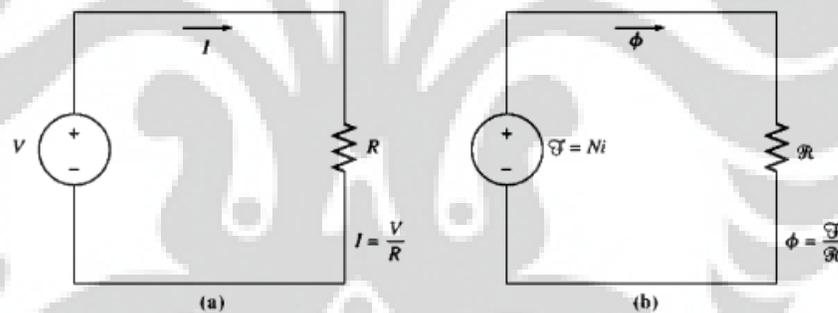
Tabel 2.1 Permeabilitas relatif bahan magnetik

Bahan	Tipe	Permeabilitas Relatif
Bismuth	Diamagnetic	0.99983
Silver	Diamagneti	0.99998
Lead	Diamagnetic	0.999983
Copper	Diamagnetic	0.999991
Water	Diamagnetic	0.999991
Vacuum	Nonmagnetic	1
Air	Paramagnetic	1.000004
Aluminium	Paramagnetic	1.00002
Palladium	Paramagnetic	1.0008
2-81 Permalloy Powder (2 Mo, 81 Ni)	Ferromagnetic	130
Cobalt	Ferromagnetic	250
Nickel	Ferromagnetic	600

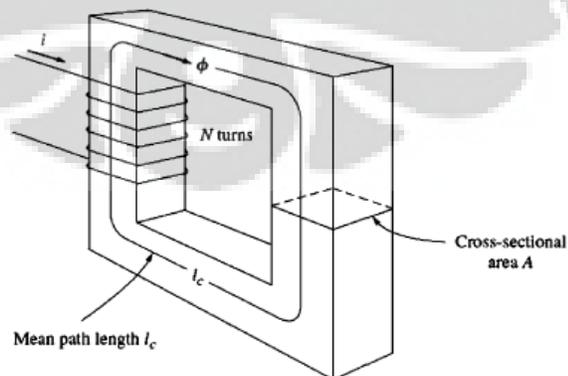
Ferroxcube 3 (Mn-Zn-ferrite powder)	Ferromagnetic	1,500
Mild Steel (0.2 C)	Ferromagnetic	2,000
Iron (0.2 impurity)	Ferromagnetic	5,000
Silicon iron (4 Si)	Ferromagnetic	7,000
78 Permalloy (78.5 Ni)	Ferromagnetic	100,000
Mumetal (75 Ni, 5 Cu, 2 Cr)	Ferromagnetic	100,000
Purified Iron (0.05 impurity)	Ferromagnetic	200,000
Supermalloy (5 Mo, 79 Ni)	Ferromagnetic	1,000,000

2.6. Rangkaian (Sirkuit) Magnetik

Pada rangkaian magnetik sebuah fluks magnetik yang membentuk pada sebuah inti seperti tabung akan terus mengalir dan membentuk rangkaian tertutup. Pada gambar 2.15 dan 2.16 di bawah menunjukkan analogi gambar rangkaian listrik, rangkaian magnetik dan sebuah rangkaian magnetik pada sebuah inti besi.



Gambar 2.15 Analogi sederhana (a) rangkaian listrik. (b) rangkaian magnetik



Gambar 2.16 Sebuah rangkaian magnetik pada sebuah inti besi

Persamaan reluktansi pada rangkaian magnetik diberikan oleh :

$$\Phi = \frac{\mu N i A}{l} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$\Phi = \frac{N I}{R} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$R = \frac{l}{\mu A} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana :

R = reluktansi pada inti besi [H^{-1}]

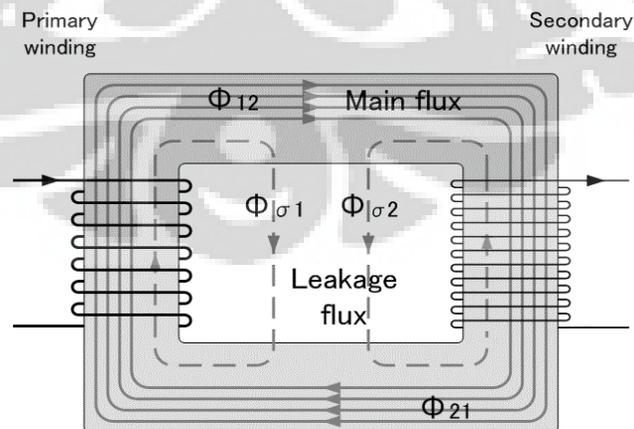
l = panjang inti besi [m]

A = luas penampang pada rangkaian magnetik [m^2]

μ = permeabilitas bahan [T.m/A atau wb/A.m]

2.7. Transformator

Transformator atau transformer atau trafo adalah komponen elektromagnet yang dapat mengubah taraf suatu tegangan AC (bolak-balik) ke taraf tegangan lain. Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Tegangan masukan bolak-balik yang membentangi primer menimbulkan fluks magnet yang idealnya semua bersambung dengan lilitan sekunder. Fluks bolak-balik ini menginduksikan GGL (gaya gerak listrik) dalam lilitan sekunder. Jika efisiensi sempurna, semua daya pada lilitan primer akan dilimpahkan ke lilitan sekunder. Pada gambar 2.17 di bawah menunjukkan aliran fluks magnetic pada transformator.



Gambar 2.17 Fluks pada transformator

Pada sisi primer rumus untuk fluks magnetik yang ditimbulkan ialah :

$$d\Phi = \frac{e dt}{N} \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana :

Φ = jumlah fluks magnet [weber]

e = tegangan pada lilitan primer [Volt]

N = jumlah lilitan primer

Pada sisi sekunder terjadi tegangan induksi dengan rumus :

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana :

e = tegangan induksi [Volt]

Φ = jumlah fluks magnet (weber)

N = jumlah lilitan sekunder

Karena kedua kumparan dihubungkan dengan fluks yang sama maka :

$$e = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{V_p}{N_p} = \frac{V_s}{N_s} \dots\dots\dots (2.23)$$

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana :

V_p = tegangan pada sisi primer

V_s = tegangan pada sisi sekunder

N_p = jumlah lilitan pada sisi primer

N_s = jumlah lilitan pada sisi sekunder

Dengan kata lain, hubungan antara tegangan primer dengan tegangan sekunder ditentukan oleh perbandingan jumlah lilitan primer dengan lilitan sekunder.

BAB 3

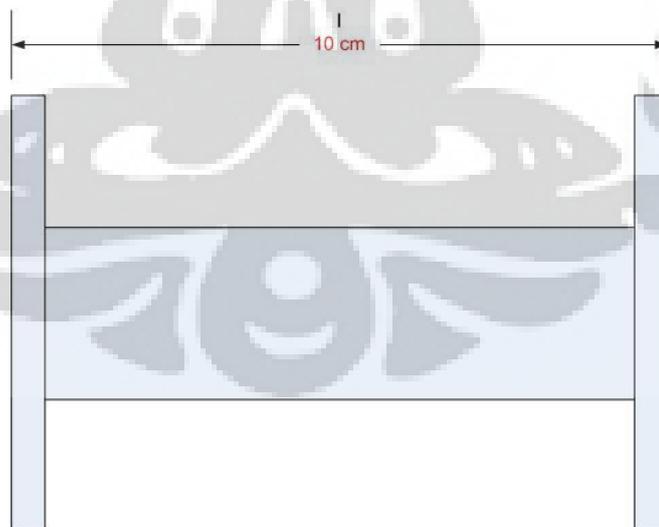
PERANCANGAN SOLENOIDA PENYADAP MEDAN ELEKTROMAGNET

3.1. Perancangan Solenoida

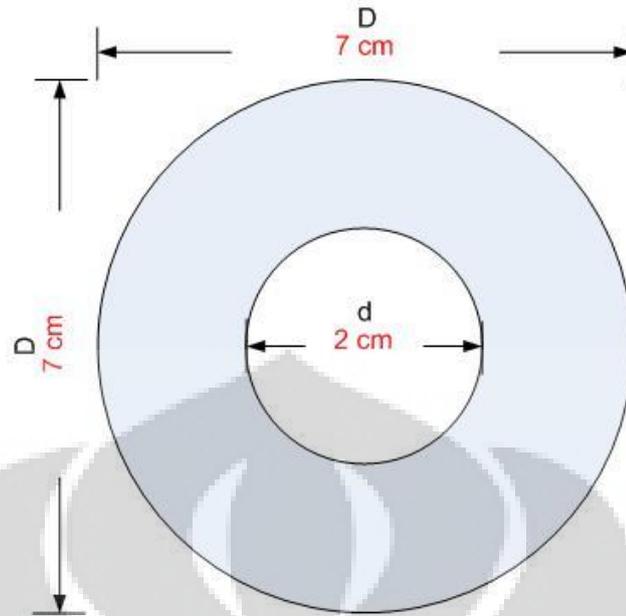
Perancangan solenoida yang akan dibuat untuk penyadapan medan elektromagnet ini adalah dengan membuat dua buah gulungan solenoida. Solenoida yang dibuat yaitu dengan menggunakan inti dan tanpa inti. Inti yang digunakan ialah inti besi yang nantinya bisa dimasukkan ke dalam solenoida tanpa inti tersebut. Pada proses pembuatan solenoida ini terdapat beberapa proses yang dilakukan, yaitu menentukan spesifikasi solenoida yang digunakan, dan proses penggulungan solenoida tersebut serta jumlah lilitan pada solenoida yang dipakai.

3.2. Spesifikasi Konstruksi Kerangka Solenoida Pertama

Spesifikasi solenoida pertama yang digunakan untuk penyadapan medan elektromagnet ini dapat dilihat pada gambar 3.1 dan gambar 3.2. Pada gambar 3.1 menunjukkan panjang solenoida sebesar 10 cm dan pada gambar 3.2 menunjukkan besar diameter dalam solenoida yang digunakan yaitu 2 cm dan diameter luar sebesar 7 cm.



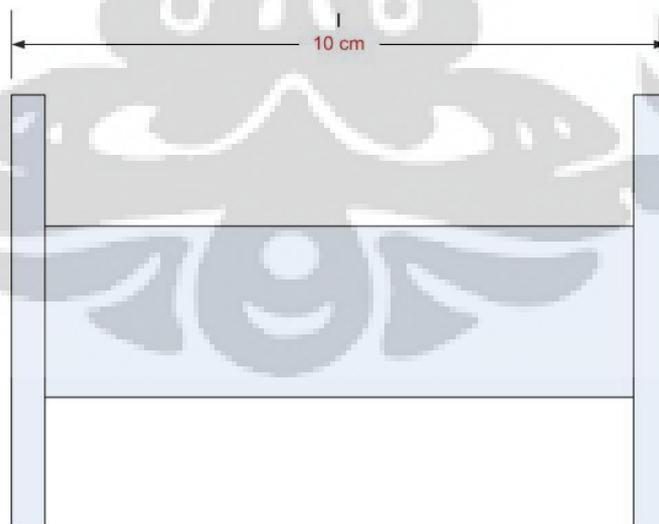
Gambar 3.1 Panjang kerangka solenoida pertama



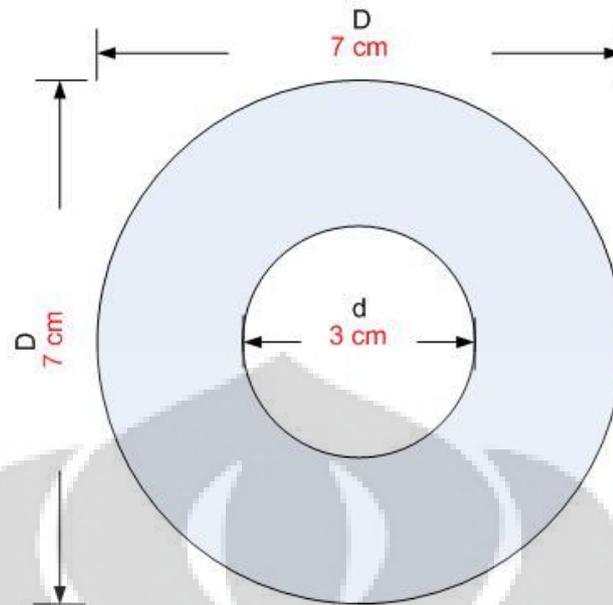
Gambar 3.2 Diameter kerangka solenoida pertama

3.3. Spesifikasi Konstruksi Kerangka Solenoida Kedua

Spesifikasi solenoida kedua ditunjukkan pada gambar 3.3 dan gambar 3.3. Pada Solenoida kedua, spesifikasi panjang solenoida pada gambar 3.3 yang digunakan sama seperti solenoida pertama yaitu 10 cm. Pada gambar 3.4 menunjukkan solenoida kedua mempunyai diameter dalam berbeda yaitu sebesar 3 cm dan diameter luar 7 cm.



Gambar 3.3 Panjang kerangka solenoida kedua



Gambar 3.4 Diameter kerangka solenoida kedua

Spesifikasi secara lengkap kerangka solenoida yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Spesifikasi masing-masing solenoida yang digunakan

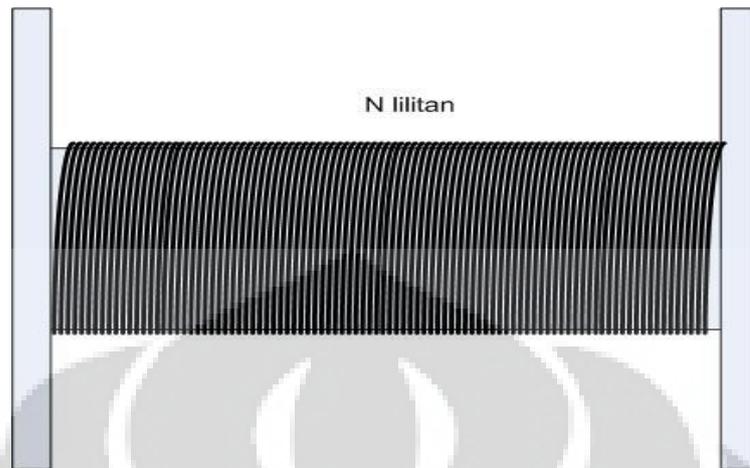
Solenoida	Panjang (cm)	Diameter dalam (cm)	Diameter luar (cm)
Solenoida pertama	10	2	7
Solenoida kedua	10	3	7

3.4. Proses Penggulungan

Pada perancangan selanjutnya, yaitu proses penggulungan kawat email tembaga. Solenoida pertama dan kedua akan digulung dengan menggunakan kawat email tembaga berdiameter 0.4 mm dan penggulungan kawat ini akan dibagi menjadi 6 bagian lilitan yaitu 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, dan 6000 lilitan.

Proses penggulungan ini menggunakan cara manual yaitu dengan tangan lalu di gulung atau di putar, kawat email pertama di keluarkan ujungnya dan mulai menggulung kemudian dihitung sampai 1000 lilitan dan dikeluarkan kawat email tiap kelipatan 1000, 2000, 3000 sampai 6000 lilitan dengan tujuan untuk menguji dan menganalisis hasil yang didapat pada proses penyadapan medan elektromagnet. Hal yang perlu diperhatikan saat proses penggulungan kawat solenoida ini adalah menjaga agar email pada tiap lilitan kawat tidak rusak atau

terkelupas. Ilustrasi gambar solenoida dengan N lilitan terdapat pada gambar 3.5 di bawah ini.



Gambar 3.5 Ilustrasi solenoida dengan N lilitan

3.5. Solenoida Tanpa Inti dan Dengan Inti

Solenoida yang telah dibuat, akan diujikan dengan menggunakan solenoida tanpa inti besi atau inti udara dan solenoida dengan inti besi. Pembuatan solenoida pada bahasan sebelumnya dibuat dengan besar diameter penampang solenoida kosong 2 cm dan 3 cm, dengan tujuan inti besi yang berukuran 2 cm dan 3 cm bisa dimasukkan ketika proses pengujian dan analisis. Inti besi yang digunakan terdapat pada gambar 3.6 dan gambar 3.7.



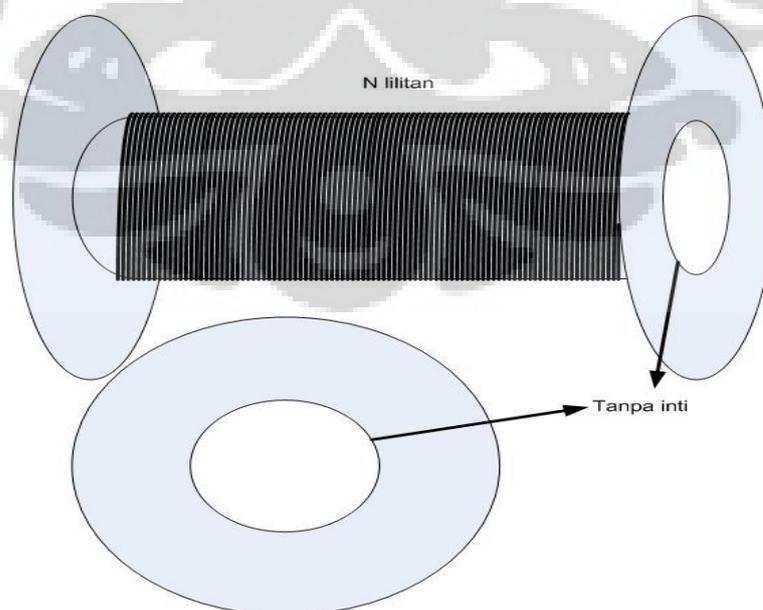
Gambar 3.6 Inti besi berdiameter 2 cm



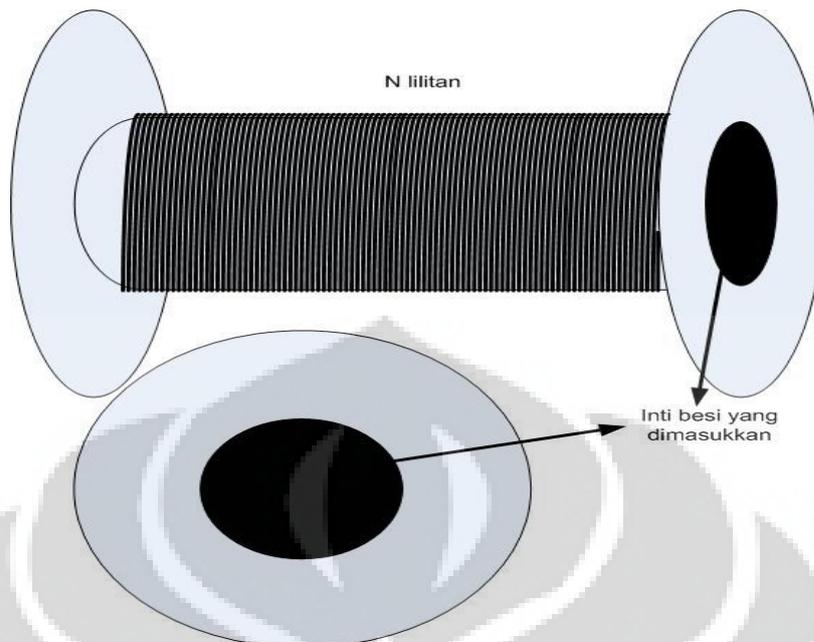
Gambar 3.7 Inti besi berdiameter 3 cm

Alasan mengapa menggunakan inti besi padat karena besi mempunyai nilai permeabilitas relatif yang tinggi dan juga termasuk jenis bahan ferromagnetik dibandingkan bahan lain yaitu jenis bahan diamagnetik dan juga paramagnetik. Penggunaan inti dengan diameter yang berbeda bertujuan untuk mengetahui pengaruh diameter inti pada solenoida dalam proses penyadapan medan elektromagnet.

Pada gambar 3.8 dan gambar 3.9 memperlihatkan ilustrasi rancangan solenoida dengan inti dan tanpa inti yang digunakan.



Gambar 3.8 Solenoida tanpa inti



Gambar 3.9 Solenoida dengan inti

3.6. Hasil Rancangan Solenoida

Hasil rancangan dua buah solenoida yang telah dibuat terdapat pada gambar 3.10 dan 3.11.



Gambar 3.10 Solenoida pertama

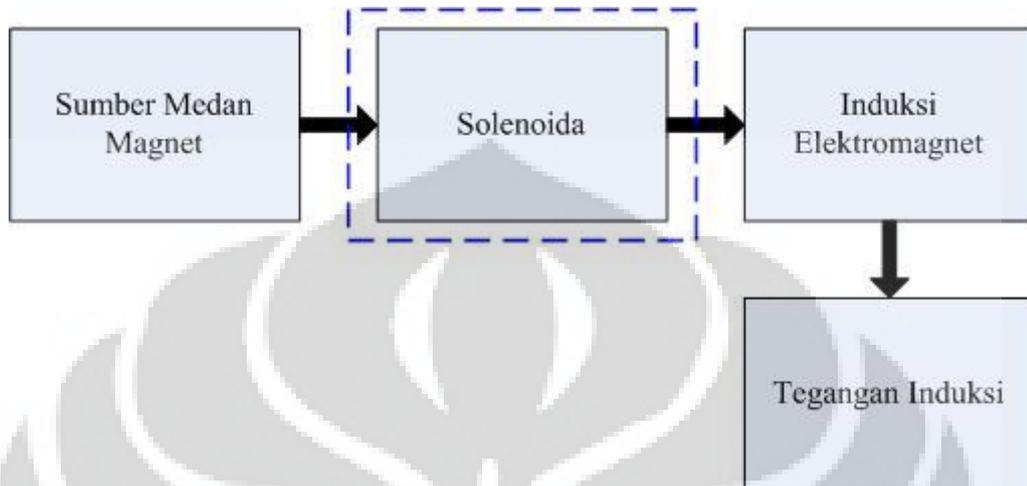


Gambar 3.11 Solenoida kedua



BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS RANCANGAN

4.1. Diagram Blok Sistem Penyadapan Potensi Medan Elektromagnet



Gambar 4.1 Diagram blok sistem

Pengujian solenoida yang telah dibuat akan diuji menggunakan sumber sumber medan magnet. Sumber medan magnet dapat berupa kipas angin, pompa air, dan kawat penghantar yang mengalirkan arus yang besar seperti di panel listrik dan gardu listrik atau pembangkit.

Gambar 4.1 di atas merupakan langkah proses pengujian penyadapan oleh solenoida terhadap medan magnet. Medan magnet yang melalui permukaan bidang atau luas bidang solenoida akan menghasilkan fluks magnet. Selanjutnya fluks magnet yang terdapat pada solenoida akan terjadi proses induksi elektromagnet yang akan menghasilkan tegangan induksi atau biasa disebut GGL induksi.

Pada proses pengujian, solenoida akan diletakkan dengan jarak yang berbeda terhadap sumber medan magnet. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jarak terhadap medan magnet dan tegangan yang dihasilkan oleh solenoida. Pada proses pengujian selanjutnya, akan digunakan solenoida tanpa inti dan dengan ini, serta dengan dengan diameter inti yang berbeda. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh diameter inti dan juga inti solenoida terhadap besar kecilnya tegangan. Pada proses pengujian yang terakhir, akan

digunakan solenoida yang mempunyai jumlah lilitan yang berbeda. tujuan pengujian ini untuk mengetahui pengaruh jumlah lilitan terhadap tegangan yang dihasilkan.

Pada proses pengujian, digunakan alat ukur medan magnet atau gauss meter dan juga multi meter. Penggunaan gauss meter untuk mengetahui besar medan magnet yang dihasilkan oleh sumber medan magnet, dan multimeter kegunaannya untuk mengukur tegangan yang dihasilkan pada solenoida yang diinduksikan oleh sumber medan magnet. Alat ukur gauss meter dan multi meter yang digunakan terdapat pada gambar 4.2 dan gambar 4.3



Gambar 4.2 Alat ukur medan magnet Lutron Gu-3001



Gambar 4.3 Alat ukur multimeter Fluke

4.2. Pengujian

Pada pengujian ini, dilakukan pengujian solenoida terhadap sumber medan magnet yaitu motor listrik pada kipas angin. solenoida yang digunakan dengan diameter 2 cm (dengan intin dan tanpa inti) dan 3 cm (dengan inti dan tanpa inti). Proses pengujian pertama ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. menyiapkan alat ukur multimeter, Gaussmeter, solenoida pertama, solenoida kedua, inti besi 2 cm, inti besi 3 cm, mistar dan kabel-kabel penghubung.
2. menyalakan kipas angin, menyiapkan Gaussmeter kemudian melakukan pengukuran medan magnet dengan berbagai macam jarak dari sumber medan magnet yaitu kipas angin (0 cm, 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm dan 30 cm).
3. meletakkan Solenoida dengan jarak yang telah ditentukan.
4. melakukan pengukuran tegangan pada solenoida (tanpa inti)
5. melakukan pengukuran tegangan pada solenoida (dengan inti)
6. melakukan pengukuran tegangan yang diperoleh solenoida untuk tiap jumlah lilitan yang dibuat.
7. melakukan pengukuran tegangan yang diperoleh solenoida dengan sudut yang berbeda (45° dan 90°)

Langkah-langkah proses pengujian diatas dapat dilihat pada gambar 4.4 dan 4.5



Gambar 4.4 Pengujian solenoida (tanpa inti) dengan sumber kipas angin



Gambar 4.5 Pengujian solenoida (dengan inti) dengan sumber kipas angin

Dari proses pengujian di atas maka diperoleh data-data hasil pengujian pada tabel berikut ini :

Tabel 4.1 Hasil pengukuran solenoida pertama tanpa inti (kipas angin)

jarak (cm)	B (μT)	e dengan N lilitan (Volt)						e dengan α (Volt)		
		1000	2000	3000	4000	5000	6000	0°	45°	90°
30	14.2	0.001	0.004	0.007	0.01	0.015	0.021	0.021	0.015	0.001
25	22.5	0.002	0.005	0.009	0.015	0.022	0.03	0.03	0.019	0.002
20	36.4	0.003	0.008	0.015	0.024	0.035	0.049	0.049	0.032	0.003
15	73.2	0.006	0.015	0.028	0.044	0.065	0.09	0.09	0.062	0.005
10	155.8	0.012	0.03	0.053	0.084	0.123	0.171	0.171	0.126	0.008
5	----	0.027	0.066	0.116	0.182	0.267	0.371	0.371	0.192	0.034
0	----	0.075	0.182	0.322	0.508	0.75	1.045	1.045	0.264	0.091

Tabel 4.2 Hasil pengukuran solenoida kedua tanpa inti (kipas angin)

jarak (cm)	B (μT)	e dengan N lilitan (Volt)						e dengan α (Volt)		
		1000	2000	3000	4000	5000	6000	0°	45°	90°
30	14.2	0.003	0.007	0.012	0.019	0.027	0.037	0.037	0.029	0.001
25	22.5	0.005	0.01	0.018	0.027	0.039	0.052	0.052	0.039	0.003
20	36.4	0.007	0.016	0.028	0.042	0.059	0.08	0.08	0.058	0.005
15	73.2	0.013	0.03	0.051	0.077	0.11	0.148	0.148	0.112	0.008
10	155.8	0.025	0.056	0.095	0.142	0.202	0.27	0.27	0.148	0.016
5	----	0.056	0.124	0.211	0.316	0.451	0.602	0.602	0.335	0.048
0	----	0.162	0.353	0.602	0.904	1.3	1.747	1.747	0.392	0.172

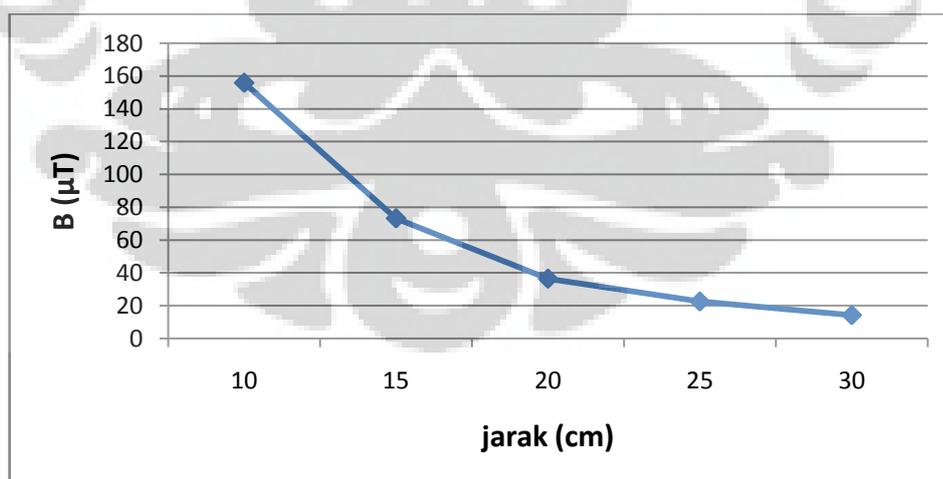
Tabel 4.3 Hasil pengukuran solenoida pertama dengan inti (kipas angin)

jarak (cm)	B (μT)	e dengan N lilitan (Volt)						e dengan α (Volt)		
		1000	2000	3000	4000	5000	6000	0°	45°	90°
30	14.2	0.015	0.03	0.045	0.062	0.079	0.097	0.097	0.062	0.003
25	22.5	0.021	0.043	0.065	0.089	0.114	0.139	0.139	0.096	0.006
20	36.4	0.034	0.068	0.104	0.14	0.179	0.218	0.218	0.156	0.018
15	73.2	0.062	0.124	0.189	0.256	0.327	0.4	0.4	0.233	0.028
10	155.8	0.12	0.241	0.365	0.495	0.629	0.767	0.767	0.453	0.036
5	----	0.257	0.517	0.75	1.056	1.345	1.638	1.638	0.986	0.132
0	----	0.735	1.475	2.231	3.020	3.85	4.7	4.7	1.57	0.35

Tabel 4.4 Hasil pengukuran solenoida kedua dengan inti (kipas angin)

jarak (cm)	B (μT)	e dengan N lilitan (Volt)						e dengan α (Volt)		
		1000	2000	3000	4000	5000	6000	0°	45°	90°
30	14.2	0.024	0.049	0.074	0.099	0.126	0.153	0.153	0.085	0.004
25	22.5	0.035	0.07	0.106	0.142	0.181	0.22	0.22	0.13	0.007
20	36.4	0.054	0.107	0.162	0.217	0.277	0.337	0.337	0.219	0.011
15	73.2	0.103	0.203	0.307	0.41	0.524	0.635	0.635	0.423	0.031
10	155.8	0.195	0.383	0.575	0.771	0.972	1.181	1.181	0.685	0.044
5	----	0.453	0.887	1.327	1.77	2.248	2.717	2.717	1.625	0.123
0	----	1.397	2.766	4.12	5.52	7.04	8.52	8.52	1.92	0.82

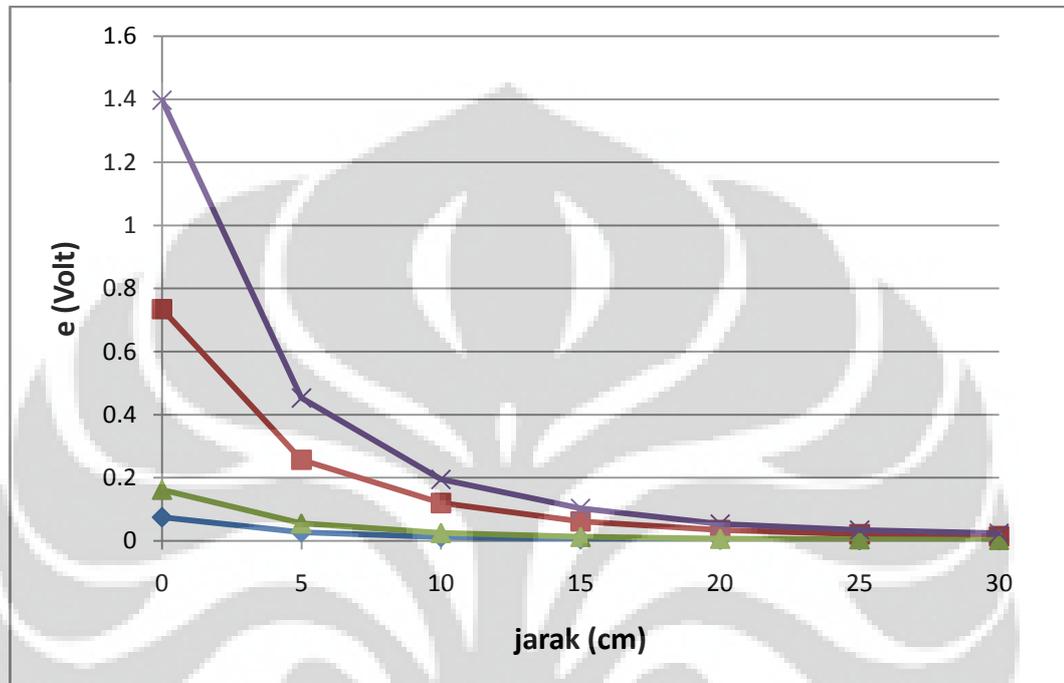
Dari ke empat tabel di atas dapat dibuat grafik hubungan antara medan magnet terhadap jarak.

**Gambar 4.6** hubungan antara medan magnet terhadap jarak

Pada gambar 4.6 dapat dilihat grafik hubungan antara medan magnet terhadap jarak, pada grafik terlihat bahwa besar medan magnet akan semakin kecil

apabila jaraknya semakin jauh dengan sumber medan magnet. Perubahan jarak ini memperbesar intensitas medan magnet dan merubah nilai medan magnet. Hubungan tersebut telah dijelaskan pada persamaan (2.3) dan (2.4).

Gambar grafik hubungan antara tegangan terhadap jarak sumber medan magnet

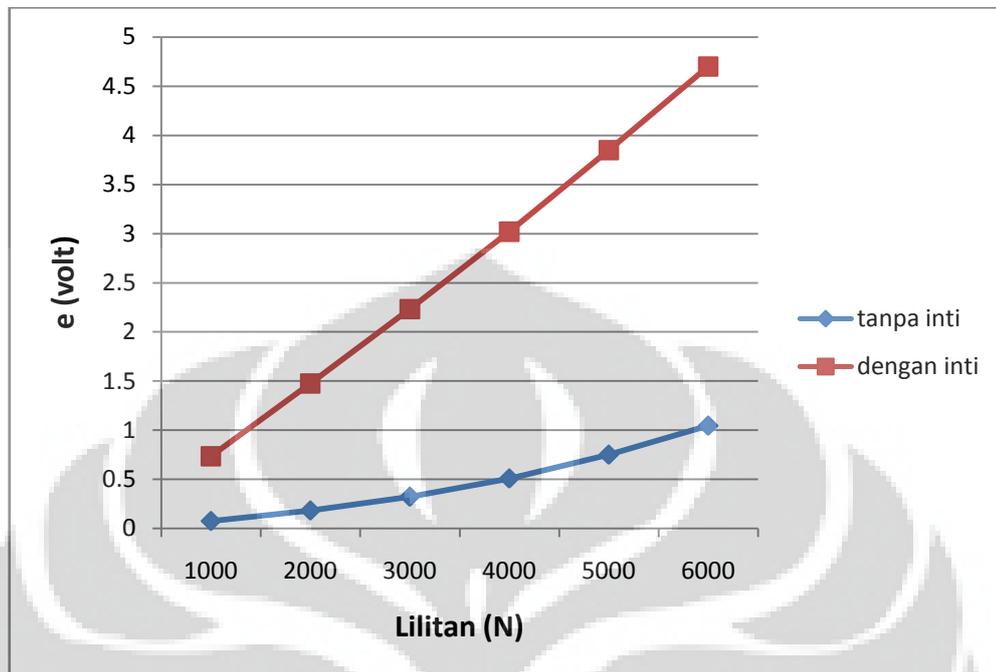


Gambar 4.7 Hubungan antara tegangan dengan jarak sumber medan magnet

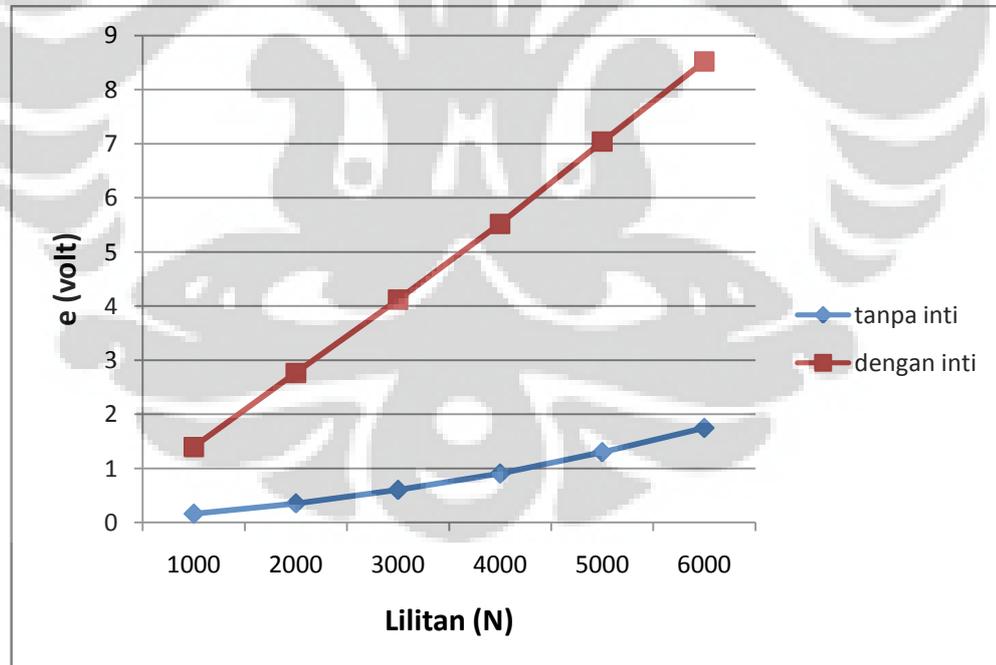
Pada gambar 4.7 dapat dilihat grafik hubungan antara tegangan dengan jarak sumber medan magnet, bahwa hasil tegangan yang diperoleh ketika jarak 0 cm dari sumber medan magnet maka tegangan yang dihasilkan oleh solenoida besar, dan sebaliknya jika jaraknya menjauhi sumber medan magnet maka tegangan yang dihasilkan akan kecil.

Pada grafik tersebut juga terlihat perubahannya pada solenoida 2 dengan inti pada jarak 5 cm dari sumber sebesar 0.453 Volt dan pada jarak 0 cm dari sumber maka besar tegangan yang didapat sebesar 1.397 Volt. Hal ini berkaitan juga oleh besar medan magnet yang dipengaruhi oleh jarak pada gambar grafik 4.6 sebelumnya, karena hasil tegangan GGL yang didapat oleh solenoida dipengaruhi juga oleh jarak dari sumber medan magnet.

Gambar grafik hubungan tegangan pada solenoida dengan inti dan tanpa inti



Gambar 4.8 Hubungan tegangan pada solenoida 1 dengan inti dan tanpa inti

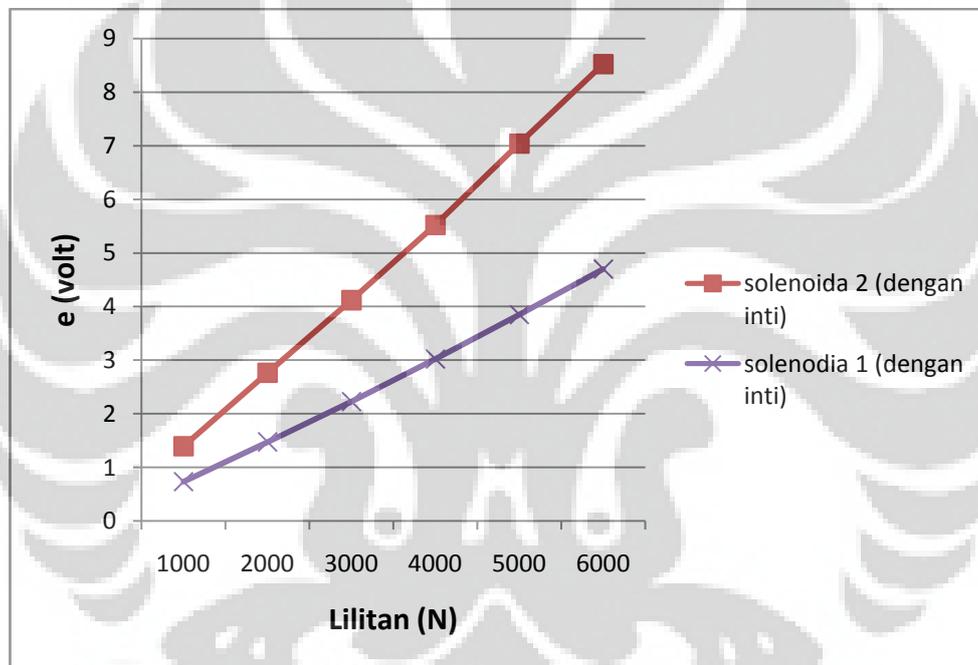


Gambar 4.9 Hubungan tegangan pada solenoida 2 dengan inti dan tanpa inti

Pada gambar 4.8 dan 4.9 di atas dapat dilihat hubungan antara tegangan yang dihasilkan oleh solenoida 1 dan solenoida 2 menggunakan inti dan tanpa inti

(inti udara). Solenoida yang tidak menggunakan inti atau tanpa inti cenderung lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan inti. Pada solenoida 2 tanpa inti didapatkan hasil tegangan sebesar 1.747 Volt dan ketika ada inti besi pada solenoida hasil tegangan naik menjadi 8.52 Volt. penggunaan inti besi memberikan jalur medan magnet yang tersebar menjadi terpusat pada inti dan memperbesar besar medan magnet, hal tersebut telah dijelaskan pada persamaan (2.4): $B = \mu H$ dimana μ adalah permeabilitas udara dikalikan dengan permeabilitas bahan magnetik ditunjukkan dengan rumus (2.17) : $\mu = \mu_r \mu_0$

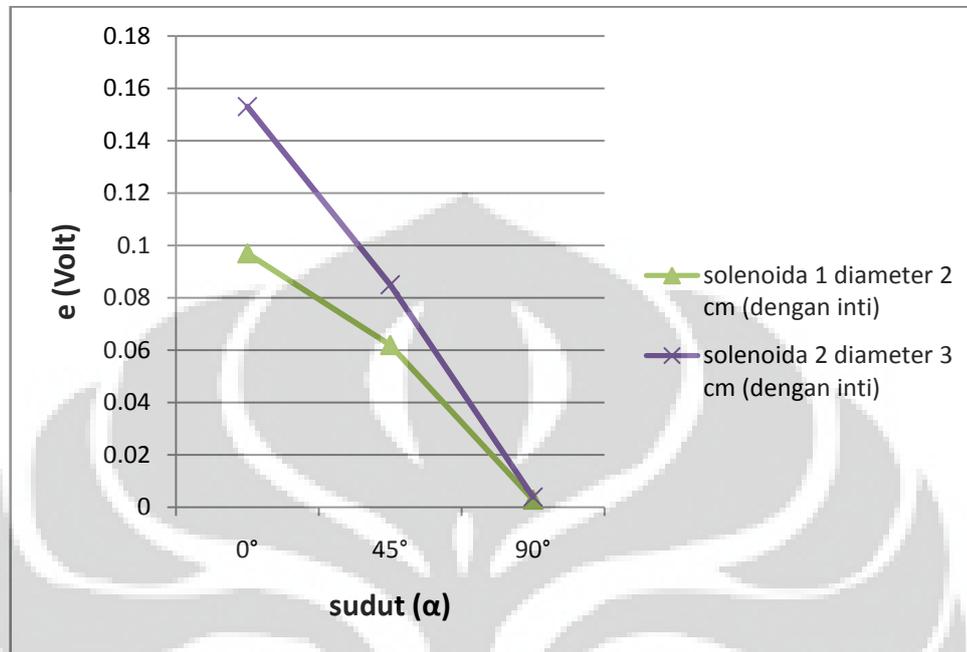
Gambar grafik hubungan antara tegangan pada solenoida terhadap jumlah lilitan



Gambar 4.10 Hubungan antara tegangan pada solenoida terhadap jumlah lilitan

Pada gambar 4.10 di atas dapat dilihat grafik yang menunjukkan perubahan jumlah lilitan pada solenoida, Semakin besar jumlah lilitan pada solenoida maka semakin besar tegangan yang dihasilkan oleh solenoida. pada grafik terlihat perubahan solenoida tiap 1000 lilitan sampai 6000 lilitan. Solenoida 1 dengan inti pada saat 1000 lilitan tegangan yang didapat sebesar 0.735, pada saat 2000 lilitan diperoleh 1.475 dan Solenoida 2 dengan inti pada saat 1000 lilitan memperoleh tegangan sebesar 1.397 Volt dan pada saat 2000 lilitan sebesar 2.766 Volt. Hal ini telah dijelaskan pada persamaan tegangan induksi (2.16).

Gambar grafik hubungan antara tegangan pada solenoida terhadap dimensi dan sudut.



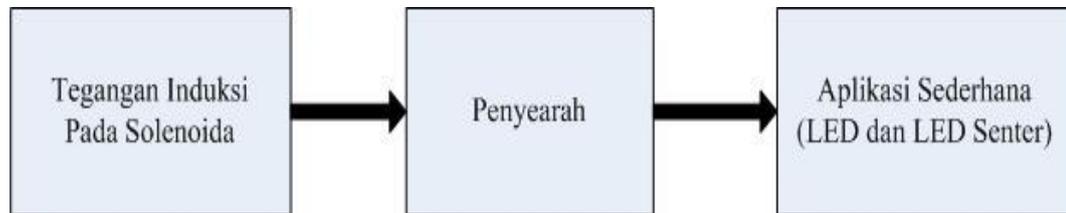
Gambar 4.11 Hubungan antara tegangan dengan dimensi solenoida dan sudut

Pada gambar 4.11 grafik di atas dapat dilihat perubahan tegangan yang dihasilkan solenoida terhadap dimensi solenoida yang dibuat dan peletakan sudut solenoida terhadap sumber medan magnet yang diinduksikan pada solenoida. Pada saat solenoida 1 yang mempunyai diameter 2 cm (denga inti) dengan sudut 0° terhadap sumber menunjukkan besar tegangan yang diinduksikan sebesar 0.097 dan pada saat sudut 45° sebesar 0.062 dan pada saat 90° sebesar 0.003 Volt. Pada solenoida 2 yang mempunyai diameter 3 cm (dengan inti) menunjukkan besar tegangan yang diinduksikan sebesar 0.153 dan turun pada saat solenoida diposisi 90° sebesar 0.004 Volt. Perubahan tegangan terhadap dimensi solenoida telah dijelaskan oleh persamaan (2.14) yaitu fluks magnetik.

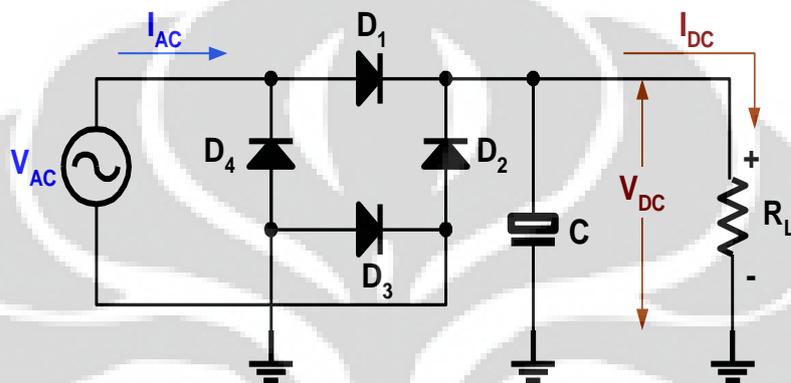
4.3. Aplikasi Penyadapan Potensi Medan Elektromagnet pada Solenoida

Pada langkah pengujian yang dilakukan sebelumnya, dapat dilihat bahwa potensi medan elektromagnet ini menghasilkan tegangan dan dapat dimanfaatkan untuk aplikasi sederhana, yaitu menyalakan lampu LED atau menyalakan sebuah

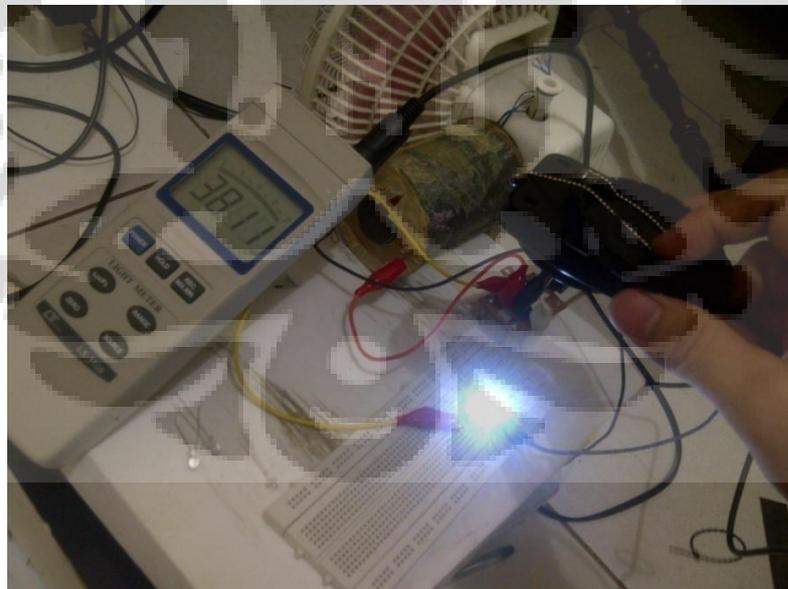
lampu LED pada senter. Berikut adalah gambar diagram blok dan aplikasi sederhana pemanfaatan yang dapat digunakan.



Gambar 4.12 Diagram blok pemanfaatan hasil tegangan solenoida



Gambar 4.13 Rangkaian penyearah gelombang penuh dengan filter kapasitif



Gambar 4.14 Aplikasi sederhana menyalakan lampu LED



Gambar 4.15 Aplikasi sederhana menyalakan LED senter

Pada gambar 4.12 dapat dilihat diagram blok sistem pemanfaatan tegangan yang dihasilkan solenoida untuk digunakan pada aplikasi-aplikasi sederhana. Tegangan yang dihasilkan pada proses penyadapan oleh sebuah solenoida ialah tegangan bolak-balik (AC) dan digunakan penyearah untuk menghasilkan tegangan searah atau tegangan DC. Gambar 4.13 terdapat rangkaian penyearah gelombang penuh menggunakan filter kapasitif, kemudian tegangan DC ini yang akan digunakan untuk aplikasi pemanfaatan menyalakan lampu LED atau menyalakan lampu senter.

Gambar 4.14 terdapat lampu LED yang menyala dan pada gambar 4.15 dapat dilihat sebuah LED pada senter yang dinyalakan melalui sebuah solenoida yang diletakkan dekat dengan sumber medan magnet (kipas angin).

Pada pemanfaatan ini dilakukan beberapa percobaan dengan menggeser sebuah solenoida beberapa cm menjauh dari sumber medan magnet dan melihat pengaruhnya pada sebuah LED dan LED senter serta mengukur pencahayaan yang di dapat oleh lampu LED dan LED senter dengan alat ukur Lux meter dengan jarak 10 cm dan 20 cm terhadap lampu.

Hasil percobaan kondisi lampu LED dan LED senter yang menyala dapat dilihat pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil percobaan pergeseran solenoida dan pengukuran cahaya lampu

jarak solenoida terhadap sumber (cm)	jarak pengukuran lux meter 10 cm		jarak pengukuran lux meter 20 cm	
	LED (Lux)	LED Senter (Lux)	LED (Lux)	LED Senter (Lux)
0	56.6	150.4	16.8	25.2
1	40.2	120.2	11.1	20.4
2	24.2	82.7	6.4	13.2
3	13.8	28.9	3.2	5.6
4	5.1	8.3	1.2	1.5
5	0.2	1.1	0	0.23
6	0	0	0	0

Pada tabel 4.5 dapat dilihat perubahan jarak solenoida terhadap sumber medan magnet mempengaruhi kondisi lampu LED dan LED senter yang dinyalakan dan hasil pengukuran cahaya pada jarak 10 cm dan 20 cm. Pada lampu LED dengan jarak pengukuran 10 cm dan jarak solenoida dengan sumber 0 cm mendapat hasil 56.6 Lux dan untuk LED senter mendapat 150.4 Lux, dan pada jarak pengukuran 20 cm didapat 16.8 Lux untuk lampu LED dan 25.2 Lux untuk LED senter. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui intensitas penerangan pada aplikasi penyalan lampu oleh penyadapan sebuah solenoida yang telah dirancang. Hal ini berhubungan juga dengan perubahan tegangan yang dibangkitkan pada solenoida yang dilakukan pada percobaan sebelumnya, semakin jauh solenoida diletakkan dengan sumber medan magnet maka akan semakin kecil tegangan yang didapat dan begitu juga sebaliknya.

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Dari tahap perancangan dan percobaan pada pembahasan sebelumnya, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Jarak berpengaruh terhadap besarnya medan magnet. Semakin dekat maka medan magnetnya akan semakin besar. Contohnya ketika jarak 15 cm, medan magnet yang didapat sebesar 73.2 μT dan saat 10 cm nilai medan magnetnya sebesar 155.8 μT .
2. Jarak solenoida terhadap sumber medan magnet mempengaruhi hasil tegangan sadap. Semakin dekat jarak solenoida terhadap sumber medan magnet maka tegangan sadap yang dihasilkan juga akan meningkat. Sebagai contoh data hasil pengujian solenoida kedua. Dengan jarak solenoida terhadap sumber sebesar 5 cm diperoleh tegangan sebesar 0.453 Volt dan ketika 0 cm didapatkan tegangan sebesar 1.397 Volt.
3. Semakin banyak jumlah lilitan pada solenoida maka tegangan sadap yang dihasilkan solenoida akan meningkat. Hal ini dapat dilihat pada data pengujian solenoida pertama. Pada saat 1000 lilitan mendapatkan tegangan sebesar 0.753 Volt dan ketika 2000 lilitan tegangan yang didapat naik menjadi 1.475 Volt.
4. Penambahan inti besi pada solenoida akan memperbesar hasil tegangan sadap pada solenoida. Ketika menggunakan inti bahan inti dengan permeabilitas yang besar maka hal ini juga akan menaikkan tegangan sadap. Contohnya ketika solenoida tak ber-inti, tegangan sadap yang diperoleh sebesar 1.747 Volt sedangkan ketika solenoida dengan inti besi tegangan sadap yang didapat naik menjadi 8.52 Volt.
5. Luas penampang solenoida berpengaruh terhadap nilai tegangan sadap yang dihasilkan. Semakin luas penampang yang digunakan maka akan semakin besar tegangan sadap yang didapatkan. Hal ini dapat dilihat pada solenoida pertama yaitu dengan diameter 2 cm maka tegangan

yang diperoleh sebesar 0.097 sedangkan pada solenoida kedua dengan diameter 3 cm didapatkan tegangan sebesar 0.153 Volt.

6. Sudut peletakan solenoida terhadap sumber medan magnet mempengaruhi hasil tegangan yang didapatkan. Semakin kecil derajat kemiringan solenoida terhadap sumber medan magnet maka akan semakin besar tegangan sadap yang dihasilkan. Sebagai contoh data pada hasil pengujian solenoida pertama. Pada saat sudut solenoida terhadap sumber sebesar 0° diperoleh tegangan sebesar 0.097 Volt dan ketika sudutnya 90° maka tegangan yang diperoleh akan turun menjadi 0.003 Volt.
7. Pemanfaatan potensi sumber medan elektromagnet dapat menghasilkan daya listrik yang dapat disadap menggunakan solenoida sehingga dapat digunakan untuk aplikasi sederhana. Contohnya, menyalakan lampu LED dan *charger* batere.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Halliday, D and Resnick, R.
Diterjemahkan oleh Pantur Silaban Ph.D, “FISIKA JILID 2”, Edisi ketiga, Penerbit Erlangga, Jakarta 1996
- [2] Krauss, D. John.
“Electromagnetics”, Third Edition, McGraw-Hill Book Co., 1984
- [3] Nasar, A. Syed and Paul R. Clayton
“Introduction to Electromagnetic Fields”, Second Edition, McGraw-Hill Book Co., 1987
- [4] Chapman, J. Stephen
“Electric Machinery Fundamentals”, Fourth Edition, McGraw-Hill, 2005
- [5] Wentworth, M. Stuart
“Fundamentals of electromagnetic with Engineering Applications”, John Wiley, 2005
- [6] Ulaby, T Fawwaz
“Fundamental of Applied Electromagnetics”, Prentice Hall Pub., 2001
- [7] Sear, F. Weston and Zemansky, W. Mark
“Electricity and Magnetism, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts. 1962
- [8] Hyart, H. William
“Engineering Electromagnetics”, McGraw-Hill, 1967