

PENGARUH INTI KOIL TERHADAP TEGANGAN INDUKTOR DAN RESISTOR YANG DIRANGKAI SECARA SERI

Surya Ningsih, Erwin, Salomo
ningsih.surya18@yahoo.com

Jurusan Fisika - Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau
Kampus Binawidya Pekanbaru, 28293, Indonesia.

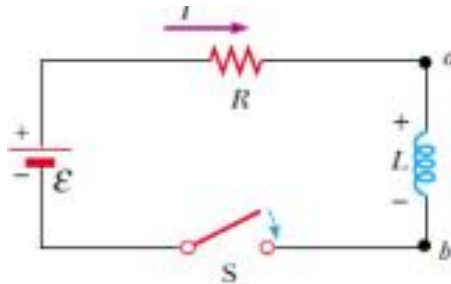
ABSTRACT

The effect of a piece of metal (called Core) such as Fe (Iron), Cu (Copper), and Al (Aluminum) on inductor's (coils) voltage and resistance has been studied. The coils were designed by varying their turns that is 50,100, and 150 with the length and diameter of 0,05 m and 0,035 m respectively. These coils were then assembled in series with a resistor whose resistance is 150 Ω , and the voltage source as well as switch. The inductor and resistor's voltage were measured based on applied current. This measurement was carried out for coil without core and coil with a core such as Fe, Al, and Cu. Based on the results of measurements of the inductor's voltage of coil with Fe core was higher than without a core, however, resistor's voltage in coil with the addition Fe was smaller than that of a coil without core. Changing the core with Cu resulted smaller inductor's voltage compared to that of coil without core and the resistor's voltage is reversed. Inserting of Al as a core into the coil produced higher inductor's voltage than that of coil without core, and the resistor's voltage is opposite. This means the coil with large magnetic field generates large inductor's voltage while resistor's voltage of the coil was smaller.

Keywords: *Coil, Core, Inductor's voltage, Resistor's voltage, magnetic field*

PENDAHULUAN

Sebuah rangkaian sederhana yang terdiri dari kawat konduktor dan elemen rangkaian lainnya seperti resistor dan induktor yang dihubungkan secara seri dengan sebuah baterai (ϵ) maka tegangan listrik (V) akan timbul pada masing-masing elemen tersebut dan arus listrik (I) akan mengalir melalui elemen-elemen tersebut. Rangkaian yang seperti ini sering disebut dengan rangkaian RL, secara prinsip skema rangkaian RL ditunjukkan oleh gambar 1.



Gambar 1. Skema rangkaian RL

Sesaat setelah saklar ditutup pada rangkaian tidak mengalir arus (karena sifat induktor yang tidak bisa berubah dengan seketika) maka sesaat setelah penutupan saklar arus pada rangkaian adalah nol. Misalkan I adalah arus pada waktu t sesaat setelah saklar ditutup maka laju perubahan arus pada waktu tersebut adalah sebesar di/dt , sehingga besarnya tegangan yang melalui resistor pada waktu tersebut adalah

$$V_R = IR \quad (1)$$

sedangkan tegangan yang melalui induktor adalah

$$V_L = L \frac{di}{dt} \quad (2)$$

Hukum Kirchoff yang berlaku untuk rangkaian RL ini adalah

$$\varepsilon - IR - L \frac{di}{dt} = 0 \quad (3)$$

Solusi persamaan arus transien untuk persamaan (3) adalah

$$I(t) = \frac{\varepsilon}{R} \left(1 - e^{-\frac{Rt}{L}} \right) \quad (4)$$

dimana:

V_R = Tegangan resistor (Volt)

V_L = Tegangan induktor (Volt)

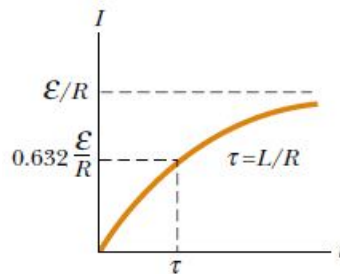
I = Arus (Ampere)

R = Resistansi (Ω)

L = Induktansi (Henry)

$\frac{di}{dt}$ = Laju perubahan arus

Persamaan Respon transien rangkaian RL dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Respon transien rangkaian RL

Dari gambar 2 dapat dilihat mula-mula arus sesaat i naik secara cepat, kemudian bertambah secara lebih lambat dan mendekati nilai akhir $I = \mathcal{E}/R$. Pada waktu yang sama dengan L/R arus tersebut naik menjadi $(1 - 1/e)$ atau kira-kira 63% dari nilai akhirnya. Kuantitas L/R menyatakan sebuah ukuran mengenai seberapa cepat arus itu bertambah menuju nilai akhirnya atau biasa disebut konstanta waktu dan dinyatakan dengan τ .

Induktor juga sering disebut dengan solenoida atau kumparan adalah sebuah koil yang terdiri dari banyak lilitan dalam bentuk struktur silindris dengan jari-jari R dan panjang ℓ (Shen dan Kong, 1987). Fungsi utama dari induktor dalam rangkaian sederhana RL ini adalah sebagai penyimpan energi, dimana energi yang disimpan ini adalah dalam bentuk medan magnetik internal dengan garis-garis gaya magnet merupakan gabungan dari garis-garis gaya magnet dari kawat melingkar. Besarnya medan magnet B yang dihasilkan induktor dengan jumlah lilitan persatuan panjang n adalah :

$$B = \mu_0 \cdot n \cdot I \quad (5)$$

Induktor yang diberi tambahan inti apabila dialiri arus listrik dapat menghasilkan medan magnet yang lebih besar dibanding induktor yang hanya memiliki inti udara. Hal ini disebabkan medan magnet induktor akan membuat magnet-magnet elementer (dipol-dipol magnet) material inti tersebut searah dan termagnetisasi. Sebagai hasilnya, medan magnet yang terjadi merupakan gabungan dari medan magnet solenoida (B_0) dan medan magnet material inti (B_{inti}), secara matematis ditulis dengan

$$B_T = B_0 + B_{inti} \quad (6)$$

Besarnya medan magnet yang ditimbulkan material inti adalah

$$B_{inti} = \mu_0 \cdot M \quad (7)$$

M menyatakan magnetisasi, untuk bahan paramagnetik dan feromagnetik magnetisasi mempunyai arah yang sama dengan B_0 . Sehingga magnetisasi berbanding lurus dengan medan magnetik solenoida yang dikerahkan untuk meyearahkan dipol magnetik pada material inti tersebut. Dengan demikian dapat ditulis

$$M = x_m \frac{B_0}{\mu_0} \quad (8)$$

x_m adalah suseptibilitas magnetik, yang nilainya berbeda-beda untuk masing-masing material. Ada beberapa jenis material magnetik dilihat dari sifat-sifatnya, yaitu

a. Diamagnetik

Material diamagnetik ini mempunyai nilai suseptibilitas magnetik x_m negatif dan sangat kecil, beberapa material yang termasuk golongan ini adalah Timah, Tembaga, Intan, Emas, Air raksa, Perak, Hidrogen (1 atm) dan Nitrogen (Tipler, 1996). Medan magnet luar yang diberikan pada material diamagnetik akan menyebabkan elektron-elektron dalam atom akan mengubah gerakannya menjadi sedemikian rupa sehingga menghasilkan resultan medan magnet atomis yang arahnya berlawanan dengan medan magnet luar tersebut (Young dan Freedman, 2002). Keadaan inilah yang menyebabkan medan magnet totalnya menjadi kecil. Besarnya suseptibilitas x_m diamagnetik pada suhu ruang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. x_m diamagnetik pada Suhu Kamar (Reitz et.al, 1992)

Material	x_m
Timah	$-16,4 \times 10^{-5}$
Tembaga	$-0,98 \times 10^{-5}$
Intan	$-2,2 \times 10^{-5}$
Emas	$-3,5 \times 10^{-5}$
Air raksa	$-2,8 \times 10^{-5}$
Perak	$-2,4 \times 10^{-5}$
Hidrogen (1 atm)	$-0,22 \times 10^{-8}$
Nitrogen	$-0,67 \times 10^{-8}$

b. Paramagnetik

Material paramagnetik adalah material yang memiliki suseptibilitas magnetik x_m yang positif dan sangat kecil (Tipler, 1996). Apabila tidak terdapat medan magnetik luar momen magnetik ini tersusun secara acak, tetapi jika diberi medan magnet luar momen magnetik ini akan cenderung menyearahkan sejajar dengan medannya. Kecendrungan momen magnetik untuk sejajar dengan medannya ini dilawan oleh kecendrungan momen untuk bergerak secara acak akibat gerakan termalnya sehingga suseptibilitas paramagnetik semakin berkurang dengan semakin bertambahnya suhu. Besarnya suseptibilitas x_m paramagnetik pada suhu ruang dapat dilihat pada tabel 1

Tabel 1. x_m paramagnetik pada Suhu Kamar (Reitz et.al, 1992)

Material	x_m
Aluminium	$2,1 \times 10^{-5}$
Natrium	$0,84 \times 10^{-5}$
Gas Oksigen	$193,5 \times 10^{-8}$
Magnesium	$1,2 \times 10^{-5}$
Titanium	18×10^{-5}

c. Feromagnetik

Material feromagnetik merupakan material yang memiliki banyak spin elektron yang tidak berpasangan dan masing-masing spin elektron yang tidak berpasangan ini akan menimbulkan medan magnetik, sehingga medan magnet total yang dihasilkan oleh satu atom menjadi lebih besar (Halliday dan Resnick, 1998). Material yang masuk pada golongan feromagnetik adalah besi murni, kobalt dan nikel serta gabungannya. Material feromagnetik ini terdiri dari daerah-daerah kecil yang disebut domain, yang berperilaku seperti magnet kecil dengan kutub utara dan selatan (Giancoli, 1998). Medan magnet luar yang diberikan pada material ini akan membuat

domain dengan momen magnet paralel terhadap medan eksternal akan mengembang sementara yang lain mengerut.

Dalam penelitian ini telah dibuat sebuah rangkaian sederhana yang terdiri dari baterai, kawat konduktor, resistor dan koil yang dihububungkan secara seri. Jumlah lilitan dari koil divariasikan yaitu 50,100, dan 150 lilitan, sedangkan untuk inti koil dipilih dari beberapa material yaitu Fe (besi), Al (Aluminium), dan Cu (Tembaga). Variable yang diteliti adalah pengaruh penambahan inti terhadap medan magnet pada koil dan pengaruh penambahan inti terhadap penambahan inti terhadap tegangan induktor dan resistor. Penelitian medan magnetik juga dilakukan untuk medan magnet sebagai fungsi arus dan medan magnet sebagai fungsi jarak.

METODELOGI PENELITIAN

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor magnetik PS 2112 alat ini dilengkapi dengan software data studio yang harus diinstal sebelumnya, koil atau induktor dengan jumlah lilitan 50,100,dan 150 lilitan, inti koil yang terdiri dari beberapa material yaitu Fe, Al, dan Cu. Resistor dengan resistansi 150 Ω , power supply, kabel penghubung, regulator sebagai pengatur tegangan, penyangga sensor untuk meletakkan sensor, dudukan kumparan, laptop sebagai alat penyimpanan data, dan multimeter untuk mengukur tegangan pada induktor dan resistor. Prosedur pengukuran medan magnet dilakukan dengan meletakkan koil pada dudukan kumparan dan menghubungkannya ke regulator yang telah tersambung ke power supply. Sensor magnet PS 2112 dipasang pada penyangga sensor dan hubungkan USB penghubung ke laptop, kemudian buka software data studio pada laptop. Tempatkan kepala sensor di dalam koil, hidupkan swich pada regulator dan klik tombol START pada software maka secara otomatis sensor akan mencatat besar medan magnet pada koil tersebut, jika data yang diambil selesai klik tombol STOP pada software. Medan magnet sebagai fungsi arus diukur untuk koil 50,100, dan 150 lilitan dengan arus masukan yang divariasikan yaitu 2A, 4A, 6A, 8A, 10A. Medan magnet sebagai fungsi jarak diukur untuk koil 50 lilitan, dengan memvariasikan jarak pengukuran yaitu dengan mengambil titik tengah kumparan sebagai titik 0, kemudian 0,01 m, 0,015 m, 0,02 m, dan 0,025 m. Untuk pengukuran medan magnet dengan penambahan inti dilakukan dengan arus masukan 2 Ampere, material inti diletakkan didalam koil dan diukur medan magnetnya.

Pengukuran tegangan pada induktor dan resistor dilakukan dengan merangkai induktor dan resistor secara seri, kemudian menghubungkannya pada regulator yang telah terhubung ke power supply. Tegangan masukan pada regulator diatur 2,6 Volt, kemudian sesaat setelah swich pada regulator diONkan tegangan pada induktor dan resistor langsung diukur. Pengukuran ini dilakukan secara berulang dengan variasi koil dan inti koil.

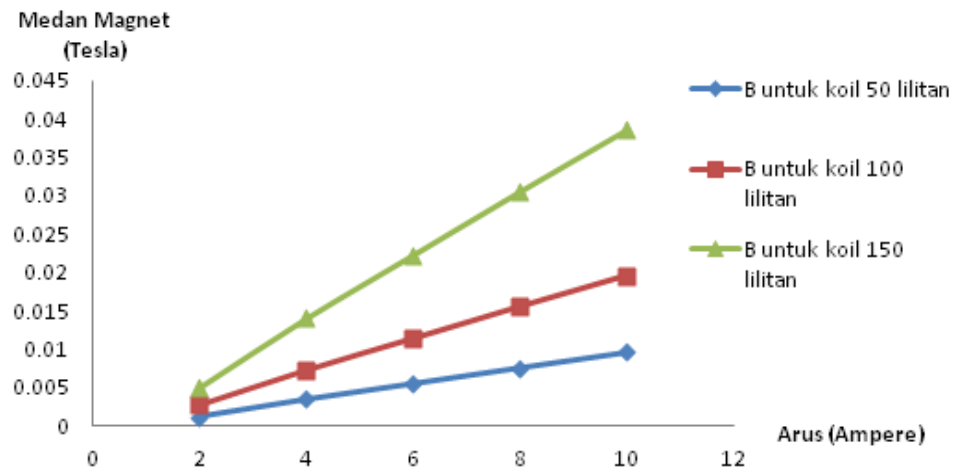
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran medan magnet pada koil sebagai fungsi arus dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 Pengukuran medan magnet pada koil sebagai fungsi arus

I (Ampere)	Brata-rata (Tesla)		
	Koil 50 lilitan	Koil 100 lilitan	Koil 150 lilitan
2	0,00118	0,002766	0,005021
4	0,003435	0,007276	0,014041
6	0,005498	0,011402	0,022293
8	0,007568	0,015542	0,030573
10	0,009577	0,019560	0,038609

Tabel 3 menunjukkan semakin besar kuat arus yang diberikan maka medan magnet yang dihasilkan oleh koil tersebut semakin besar, hal ini dapat dilihat pada gambar 3. Pertambahan besar medan magnet ini sesuai dengan yang diterangkan pada persamaan $B = \mu_0 \cdot n \cdot I$. Pada gambar 3 juga dapat dilihat arus masukan yang sama medan magnetnya berbeda untuk koil dengan jumlah lilitan yang berbeda, semakin banyak jumlah lilitan pada koil maka medan magnet yang dihasilkan oleh koil tersebut semakin besar. Pertambahan ini dikarenakan garis-garis gaya magnet pada koil merupakan gabungan dari garis-garis gaya medan magnet dari kawat melingkar. Apabila lilitan pada koil semakin banyak, maka garis-garis gaya pada koil tersebut semakin banyak sehingga medan magnet yang dihasilkan semakin besar.



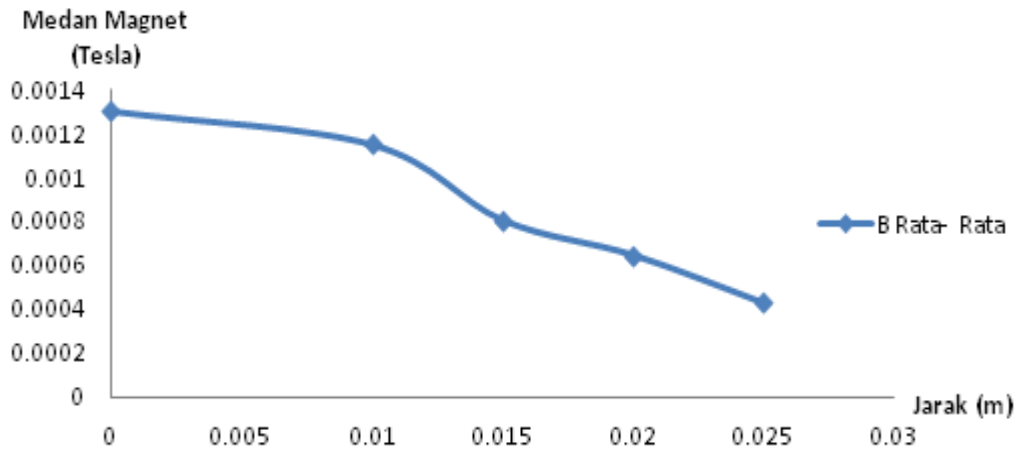
Gambar 3. Medan magnetik (T) sebagai fungsi arus

Hasil pengukuran medan magnetik sebagai fungsi jarak pada koil 50 lilitan dapat dilihat pada tabel 4.

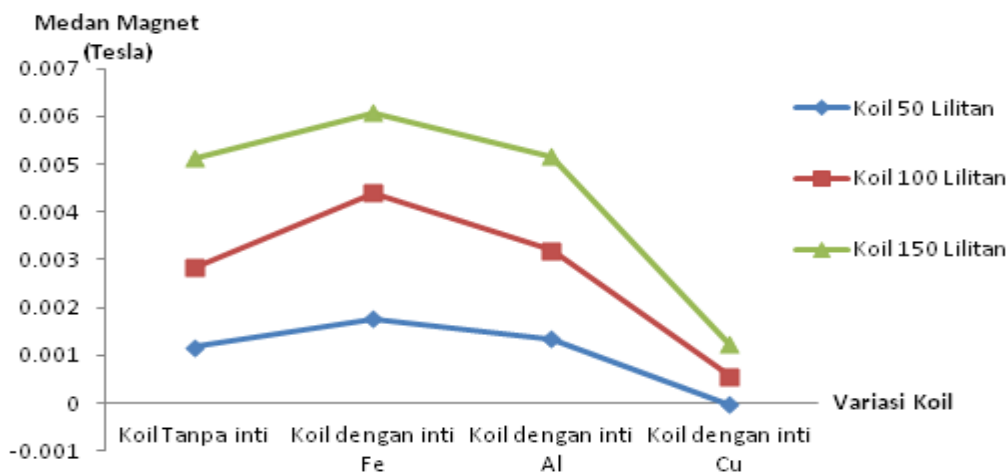
Tabel 4 Pengukuran medan magnet pada koil sebagai fungsi jarak

Jarak (m)	B rata-rata (Tesla)
0	0,001301
0,01	0,001149
0,015	0,000805
0,02	0,000647
0,025	0,000428

Gambar 4 adalah grafik hubungan antara jarak terhadap kuat medan magnet pada koil 50 lilitan dengan arus masukan 2 ampere. Semakin jauh jarak pengukuran medan magnet dari titik tengah koil maka medan magnet yang terukur semakin kecil. Hal ini disebabkan semakin jauh jarak dari sumber magnetik maka akan semakin kecil medan yang berpengaruh pada daerah tersebut, sesuai dengan yang diharapkan.



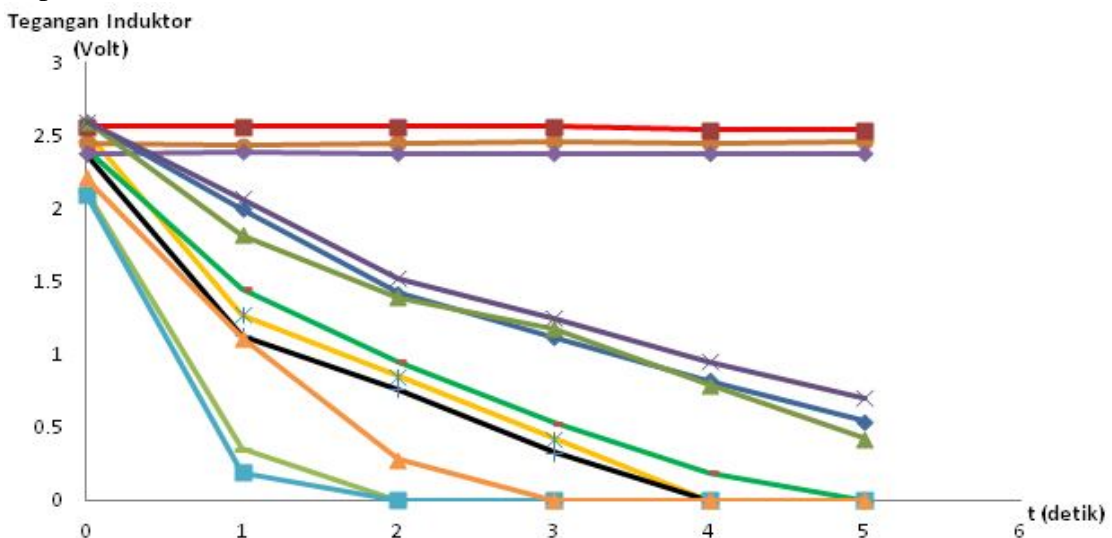
Gambar 4. Hubungan jarak terhadap besar medan magnet



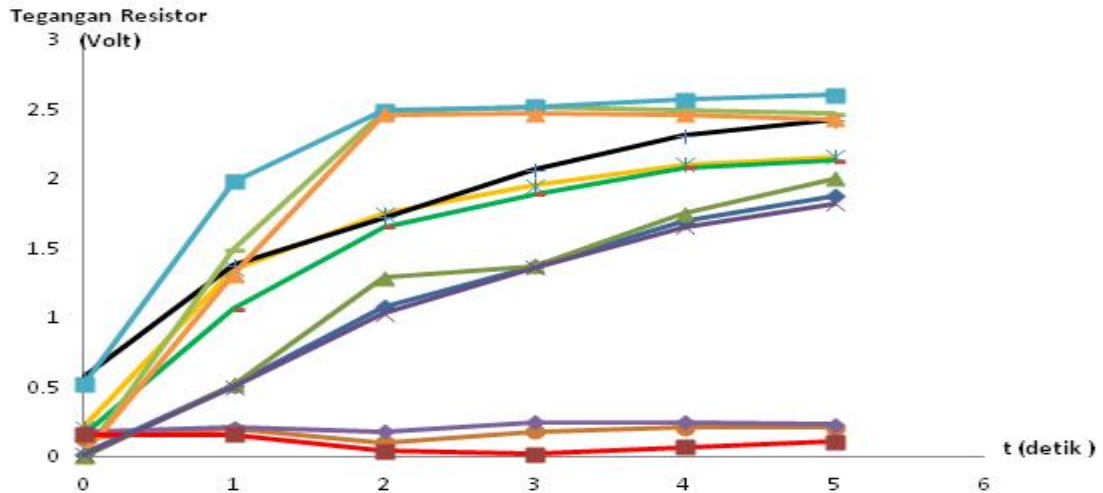
Gambar 5 Pengaruh inti terhadap medan magnet pada koil

Penambahan bahan inti pada koil juga akan mempengaruhi besarnya medan magnet dari kumparan tersebut, seperti yang terlihat pada gambar 5. Koil yang diberi inti Fe menghasilkan medan magnet yang paling besar dibanding koil tanpa inti dan koil dengan inti Al dan Cu, penambahan nilai yang sangat besar ini karena Fe merupakan material feromagnetik yang mempunyai nilai suseptibilitas sangat besar. Sedangkan penambahan inti Cu pada koil akan memperkecil medan magnet koil karena Cu adalah material diamagnetik yang nilai suseptibilitasnya negatif dan sangat kecil. Medan magnet pada koil yang diberi inti Al akan memperbesar medan magnet total yang dihasilkan namun pertambahannya tidak terlalu besar karena Al adalah material paramagnetik yang nilai suseptibilitasnya sangat kecil.

Pada gambar 6 dapat dilihat dengan jelas bahwa tegangan induktor nilainya menurun seiring dengan pertambahan waktu dan pada gambar 7 tegangan resistor naik seiring dengan pertambahan waktu, penurunan nilai V_L dikarenakan sesaat setelah saklar ditutup arus yang mengalir pada rangkaian adalah nol sehingga tegangan pada induktor sama dengan tegangan sumber sedangkan tegangan pada resistor sama dengan nol. Seiring dengan pertambahan waktu maka arus mulai mengalir, sehingga tegangan resistor bertambah besar seiring dengan pertambahan waktu. Sedangkan pada saat arus semakin besar kecepatan pertambahan arus semakin kecil sehingga mengakibatkan tegangan induktor semakin menurun seiring pertambahan waktu. Koil dengan inti Fe menghasilkan nilai tegangan induktor yang jauh lebih besar dibanding koil tanpa inti, sedangkan tegangan induktor pada koil dengan inti Cu lebih kecil dibanding koil tanpa inti. Perbedaan ini disebabkan ini oleh induktansi dari koil, penambahan inti Fe menyebabkan medan magnetnya semakin besar dan ini berarti koil memiliki induktansi yang jauh lebih besar dibanding koil tanpa inti.



Gambar 6. Tegangan Induktor sebagai fungsi waktu (t) untuk koil tanpa inti dan koil dengan inti Fe, Al, dan Cu



Gambar 7. Tegangan resistor sebagai fungsi waktu (t) untuk koil tanpa inti dan koil dengan inti Fe, Al, dan Cu

Keterangan :

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| = koil 100 lilitan tanpa inti | = koil 50 lilitan dengan inti Cu |
| = koil 100 lilitan dengan inti Fe | = koil 50 lilitan dengan inti Al |
| = koil 100 lilitan dengan inti Cu | = koil 150 lilitan tanpa inti |
| = koil 100 lilitan dengan inti Al | = koil 150 lilitan dengan inti Fe |
| = koil 50 lilitan tanpa inti | = koil 150 lilitan dengan inti Cu |
| = koil 50 lilitan dengan inti Fe | = koil 150 lilitan dengan inti Cu |

Induktansi koil yang besar akan menimbulkan gaya gerak listrik induksi yang besar dan menyebabkan laju perubahan arus terhadap waktu lebih lambat sehingga tegangan induktor dengan inti Fe sangat besar dan relatif tetap dari tegangan masukan. Koil dengan inti Cu memiliki medan magnet dan induktansi yang lebih kecil dibandingkan koil tanpa inti, sehingga laju perubahan arus yang lebih cepat terjadi pada koil dan menyebabkan tegangan induktornya akan turun secara cepat. Peristiwa yang sama terjadi pada koil dengan jumlah lilitan yang bervariasi, untuk koil 150 lilitan memiliki tegangan induktor yang sangat besar sedangkan koil 50 lilitan memiliki tegangan induktor yang sangat kecil. Ini berarti semakin besar induktansi pada koil maka semakin besar tegangan induktornya, dan penambahan inti pada koil berpengaruh terhadap tegangan induktor karena dengan penambahan inti akan mengubah besar induktansi koil.

Keadaan ini berlawanan dengan tegangan resistor. Pada gambar 7 terlihat tegangan resistor pada koil dengan inti Fe jauh lebih kecil dibanding koil tanpa inti, sedangkan tegangan resistor pada koil dengan inti Cu lebih besar dibanding koil tanpa inti. Perbedaan ini dikarenakan medan magnet koil dengan inti Fe yang lebih besar dibanding koil tanpa inti sehingga induktansi dari koil dengan inti Fe jauh lebih besar dibanding koil tanpa inti. Koil dengan induktansi besar akan menimbulkan gaya gerak listrik yang besar, dengan begitu koil lebih mudah menghambat arus yang

mengalir sehingga arus yang melalui resistor sangat kecil dan menyebabkan tegangan resistornya sangat kecil. Koil dengan inti Cu memiliki medan magnet yang lebih kecil daripada koil tanpa inti, ini berarti induktansi dan ggl induksinya juga lebih kecil dibanding koil tanpa inti. Koil dengan gaya gerak listrik induksi yang kecil lebih sukar menahan arus, dan menyebabkan arus yang mengalir ke resistor akan bertambah dengan cepat sehingga tegangan resistornya meningkat cepat. Peristiwa yang sama terjadi pada koil dengan jumlah lilitan yang bervariasi, untuk koil 150 lilitan memiliki tegangan resistor lebih kecil dari koil 50 lilitan. Ini berarti semakin besar medan magnet atau induktansi pada koil maka semakin kecil tegangan resistornya, dan penambahan inti pada koil berpengaruh terhadap tegangan resistor karena dengan penambahan inti koil akan mengubah besar induktansi koil.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan: Medan magnet koil akan bertambah besar apabila arus yang mengalir pada koil diperbesar dan jumlah lilitan pada koil diperbanyak. Medan magnet yang dihasilkan koil 50 lilitan dengan arus masukan 2 Ampere adalah 0,001180 Tesla, namun begitu jumlah lilitannya ditambah menjadi 150 lilitan dengan arus masukan diperbesar 10 Ampere medan magnetnya menjadi 0,038609 Tesla. Medan magnetik paling besar dihasilkan oleh koil 150 lilitan dengan inti Fe yaitu 0,006071 Tesla, sedangkan medan magnet paling kecil dihasilkan oleh koil 50 lilitan dengan inti Cu yaitu -0,000032 Tesla. Besarnya tegangan induktor dan resistor dipengaruhi oleh medan magnet koil, koil dengan medan magnet besar menghasilkan tegangan induktor yang besar. Penambahan inti Fe, dan Al memperbesar tegangan induktor, sedangkan dengan penambahan inti Cu memperkecil tegangan induktor. Koil yang mempunyai medan magnet besar maka tegangan resistornya akan bernilai kecil. Penambahan inti Fe dan Al pada kumparan memperkecil tegangan resistor sedangkan penambahan inti Cu memperbesar nilai tegangan resistor.

DAFTAR PUSTAKA

- Giancoli, D.C. 1998. Fisika jilid 2. Terjemahan Dra. Yuhilza Hanum, M.Eng dan Ir. Irwan Arifin, M.Eng. Penerbit Erlangga, Jakarta
- Halliday, D. dan Resnick, R. 1998. Fisika Cetakan Ketiga. Terjemahan. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Reitz, J.R., Milford, F.J., Christy, R.W. 1992. Foundation of Electromagnetic Theory. Penerbit, Addison-wesley publishing company, Inc
- Shen, L.C. dan Kong, J.A. 1987. "Applied Electromagnetism", PWS Publisher
- Tipler, P.A. 1996, "Fisika Untuk Saint dan Teknik" Jilid 2, Edisi ketiga, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Young, H. D. dan Freedman, R. A, 2002. Fisika Universitas (terjemahan). Penerbit Erlangga, Jakarta.