

Desain Induktor Solenoid

Kevin Ignatius Wijaya	16521150
Averroes Aji Van Tafakur	16521157
Isnaini Azhar Ramadhan Wijaya	16521164
Janetta Olivia Gunawan	16521171
Abraham B. C. P. Pratomo	16521178
Bagus Isa Ahmad	16521185
Albert	16521192
Jazila Faza Aliyya Nurfauzi	16521199
Danang Ihsan	16521206
Salman Ma'arif Achsien	16521213

K-17, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

- ^{a)} 16521150@mahasiswa.itb.ac.id
- ^{b)} 16521157@mahasiswa.itb.ac.id
- ^{c)} 16521164@mahasiswa.itb.ac.id
- ^{d)} 16521171@mahasiswa.itb.ac.id
- ^{e)} 16521178@mahasiswa.itb.ac.id
- ^{f)} 16521185@mahasiswa.itb.ac.id
- ^{g)} 16521192@mahasiswa.itb.ac.id
- ^{h)} 16521199@mahasiswa.itb.ac.id
- ⁱ⁾ 16521206@mahasiswa.itb.ac.id
- ^{j)} 16521213@mahasiswa.itb.ac.id

Abstrak

*Isi dari makalah berikut merupakan hasil dari pembuatan induktor solenoid, penentuan nilai-nilainya, dan analisis jika dihubungkan ke dalam rangkaian RLC (resistor-induktor-kapasitor). Metode yang digunakan adalah penentuan induktor secara teoretis menggunakan perhitungan $L = \mu_0 * N^2 * A / l$, lalu menghubungkan induktor pada suatu rangkaian RLC yang akan diukur nilai-nilai seperti tegangan dan lainnya menggunakan multimeter, lalu dibandingkan dengan perhitungan teoretis. Prinsip yang digunakan adalah medan magnetik dan induktansi diri. Aplikasi dari induktansi adalah untuk meregulasi arus listrik yang mengalir apabila sumber arus tidak stabil dan fluktuatif.*

Kata-kata kunci: Induktansi, impedansi, sumber arus bulak-balik.

TUJUAN

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merangkai sebuah induktor berbentuk solenoid yang memiliki nilai induktansi $\geq 1\text{mH}$ dan volume $\leq 10\text{ cm}^3$.
2. Mengukur nilai induktansi dari induktor yang dirangkai dengan rangkaian seri RLC menggunakan multimeter serta membandingkannya ke nilai hasil perhitungan teori.

TEORI DASAR

Induktor adalah sebuah komponen elektronika pasif yang dapat menyimpan energi pada medan magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melintasinya. Kemampuan induktor untuk menyimpan energi magnet ditentukan oleh induktansinya, dalam satuan Henry. Pada percobaan ini, akan digunakan induktor solenoid dengan lilitan pada inti yang lurus (inti berbentuk batang).

Induktansi adalah induktansi elektromagnetik yang terjadi pada suatu rangkaian akibat perubahan arus pada rangkaian itu sendiri (induktansi diri) atau perubahan fluks yang disebabkan oleh rangkaian lain (induktansi bersama). Solenoid memiliki persamaan induktansi:

$$L = \frac{N\Phi_B}{i} = \frac{N(BA)}{i} = \frac{N\left(\mu_0 i \frac{N}{l}\right)(A)}{i} = \frac{\mu_0 N^2 A}{l}$$

dengan keterangan:

L = induktansi (H)

μ_0 = panjang permeabilitas ($4\pi \times 10^{-7}$)

N = jumlah lilitan

A = luas area (m^2)

l = panjang lilitan

Rangkaian arus bolak balik memiliki hambatan yang terdiri dari hambatan resistor atau resistansi (R), hambatan induktor atau reaktansi induktif (XL) dan hambatan kapasitor atau reaktansi kapasitif (XC). Gabungan dari ketiga besar hambatan tersebut dinamakan dengan Impedansi atau hambatan total yang dinyatakan sebagai Z dengan satuan Ohm.

Rangkaian RLC seri merupakan rangkaian elektronika yang terdiri atas Resistor, Induktor, dan Kapasitor yang dihubungkan secara seri dengan sumber tegangan bolak balik atau tegangan AC. Ketiga hambatan tersebut dialiri arus (I) yang sama sehingga diagram fasor arus diletakkan pada t=0. Persamaan mengenai rangkaian RLC seri dapat dirumuskan sebagai berikut ini :

Tegangan efektif (V)

$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$

V = Tegangan total/efektif (V)

V_R = Tegangan pada resistor (V)

V_L = Tegangan pada induktor (V)

V_C = Tegangan pada kapasitor (V)

Impedansi (Ω)

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Z = Impedansi rangkaian RLC (Ω)

R = Hambatan (Ω)

X_L = Reaktansi induktif (Ω)

X_C = Reaktansi kapasitif (Ω)

Arus efektif (I)

$$I = \frac{V}{Z}$$

Konstanta fase

$$\tan\phi = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{X_L - X_C}{R}$$

Dari persamaan – persamaan di atas dapat di simpulkan beberapa sifat yang dimiliki rangkaian RLC seri, antara lain:

Nilai $X_L > X_C$, rangkaian bersifat induktif di mana tegangan mendahului arus dengan beda sudut fase -90° .

Nilai $X_L < X_C$, rangkaian bersifat kapasitif di mana arus mendahului tegangan dengan beda sudut 90° .

Nilai $X_L = X_C$, rangkaian bersifat resistif di mana arus tertinggal oleh tekanan dengan beda sudut fase 0° atau besar nilai impedansi rangkaian sama dengan nilai hambatannya ($Z = R$).

METODE

Desain dan Bahan

1. Desain

Induktor solenoid terbuat dari kawat enamel yang dililitkan pada sebuah batang besi. Dengan rangkaian RLC seri yang terdiri atas kapasitor, resistor, catu daya AC, dan multimeter AC, kami dapat menentukan besar arus rangkaian tersebut.

2. Bahan

NO	BAHAN	HARGA (Rp)
1	Multimeter digital	-
2	Catu daya + transformator AC	74.000
3	Resistor	5.000
4	Kapasitor	
5	Jepitan buaya	2.000
6	Kawat enamel	30.000
Total		111.000

Prosedur Percobaan

- Siapkan semua alat dan bahan yang diperlukan untuk percobaan.
- Buat solenoid dari kawat enamel dengan volume maksimal 1 cm^3 dan nilai induktansi minimal 1mH .
- Siapkan resistor, kapasitor dan induktor yang telah dibuat.
- Rangkai resistor, kapasitor dan induktor secara seri.
- Sambungkan kedua ujung rangkaian pada catu daya dengan menggunakan capit buaya.
- Ukur V_L , V_R , V_C , dan I lalu catat hasilnya.

PERHITUNGAN BERDASARKAN DESAIN DAN TEORI

1. Validasi nilai V_s rangkaian teori dan sebenarnya

Untuk mengetahui apakah pembacaan voltmeter telah benar. Kami dapat membandingkan nilai antara teori dengan pembacaan. Persamaan yang dipakai :

$$V_s \text{ rangkaian} = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$

Substitusi setiap elemen sesuai data hasil percobaan, kami akan mendapatkan:

$$V_s \text{ rangkaian} = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$

$$V_s \text{ rangkaian} = \sqrt{1.892^2 + (0.092 - 11.26)^2}$$

$$V_s \text{ rangkaian} = \sqrt{3.579664 + 124.724224}$$

$$V_s \text{ rangkaian} = \sqrt{128.303888}$$

$$V_s \text{ rangkaian} = 11.3271 \text{ V}$$

Dari perhitungan tersebut, kami dapat mengetahui bahwa pembacaan voltmeter sudah benar karena hasil yang didapat antara teori dan pembacaan tidak terlalu jauh berbeda. Hanya memiliki galat sebagai berikut:

$$\% \text{galat} = \frac{| \text{hasil pembacaan} - \text{teori} |}{\text{teori}} \times 100\%$$

$$\% \text{galat} = \frac{| 11.36 - 11.3271 |}{11.3271} \times 100\%$$

$$\% \text{galat} = 0.29 \%$$

2. Menghitung nilai L secara teori

Dari hasil pengambilan data kami dapat mengetahui beberapa besaran sebagai berikut.

$$jumlah lilitan = N = 500$$

$$jari - jari kumparan = r = 0.6 \text{ cm} = 0.006 \text{ m}$$

$$\text{panjang kumparan} = l = 3 \text{ cm} = 0.03 \text{ m}$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$$

untuk menghitung nilai L secara teori kami dapat menggunakan persamaan berikut:

$$L = \frac{\mu_0 N^2 A}{l}$$

$$L = \frac{(4\pi \times 10^{-7})(500)^2 (\pi * 0.006^2)}{(0.03)}$$

$$L \approx 0.00118435 \text{ H}$$

$$L \approx 1.18435 \text{ mH}$$

3. Menghitung frekuensi dari kapasitor

Tujuan menghitung frekuensi yang kami dapatkan adalah untuk memastikan apakah frekuensi di rangkaian sama dengan frekuensi dari sumber listrik sehari-hari sebesar 50 Hz. Untuk mencari nilai frekuensi kami dapat menggunakan persamaan berikut.

$$V_C = I \text{ rangkaian} \cdot X_C$$

$$X_C = \frac{V_C}{I \text{ rangkaian}}$$

$$X_C = \frac{11,26}{18,92 \times 10^{-3}}$$

$$X_C = 595.13 \Omega$$

Kami mengetahui bahwa nilai X_C juga sama dengan persamaan berikut

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

Sehingga, kami dapat mencari nilai f sebagai berikut.

$$f = \frac{1}{2\pi C \cdot X_C}$$

$$f = \frac{1}{2\pi(5.5 \times 10^{-6}) \cdot (595.13)}$$

$$f \approx 48.62 \text{ Hz}$$

Dari perhitungan tersebut, kami dapat mengetahui bahwa frekuensi rangkaian sudah benar karena hasil yang didapat antara teori dan pembacaan tidak terlalu jauh berbeda. Hanya memiliki galat sebagai berikut:

$$\% \text{ galat} = \frac{|f \text{ rangkaian} - f \text{ teori}|}{f \text{ teori}} \times 100\%$$

$$\% \text{ galat} = \frac{|48.62 - 50|}{50} \times 100\%$$

$$\% \text{ galat} = 2.76 \%$$

4. Menghitung nilai L menggunakan impedansi

Tujuan dari percobaan ini adalah untuk mengetahui nilai induktansi dari solenoid yang telah kami buat. Perhitungan ini akan menggunakan hubungan antara tegangan rangkaian, arus rangkaian dan impedansi. Untuk lebih jelasnya kami akan menggunakan persamaan berikut.

$$V \text{ rangkaian} = I \text{ rangkaian} * Z$$

$$V \text{ rangkaian} = I \text{ rangkaian} * \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Karena nilai V_C lebih besar dibanding V_L di dalam percobaan. Maka, rangkaian ini bersifat kapasitif sehingga persamaan di atas akan menjadi berikut:

$$V \text{ rangkaian} = I \text{ rangkaian} * \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}$$

$$V^2 \text{ rangkaian} = I^2 \text{ rangkaian} * (R^2 + (X_C - X_L)^2)$$

$$\frac{V^2 \text{ rangkaian}}{I^2 \text{ rangkaian}} - R^2 = (X_C - X_L)^2$$

$$\sqrt{\frac{V^2 \text{ rangkaian}}{I^2 \text{ rangkaian}}} - R^2 = (X_C - X_L)$$

$$X_L = X_C - \sqrt{\frac{V^2 \text{rangkaian}}{I^2 \text{rangkaian}} - R^2}$$

$$X_L = 595,13 - \sqrt{\frac{(11.36)^2}{(18.92 \times 10^{-3})^2} - 100^2}$$

$$X_L = 3.0932 \Omega$$

Setelah kami mendapatkan nilai X_L , kami dapat menghitung nilai induktansi menggunakan rumus berikut:

$$X_L = \omega L$$

$$X_L = 2\pi f L$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f}$$

$$L = \frac{(3.0932)}{2\pi(48.62)}$$

$$L = 0.01012 H$$

$$L \approx 10.1254 mH$$

ANALISIS

Pada percobaan di atas, nilai induktansi yang diperoleh melalui perhitungan menggunakan hasil percobaan cukup berbeda dengan nilai induktansi teori. Berikut adalah beberapa hal yang mungkin menyebabkan perbedaan ini.

1. Kapasitor yang digunakan. Pada percobaan ini, kapasitor yang digunakan memiliki nilai kapasitansi yang sangat kecil. Hal ini menyebabkan nilai X_C untuk jauh lebih besar dari nilai X_L ; akibatnya, nilai arus rangkaian menjadi sangat rendah. Karena nilai arus rangkaian berbanding terbalik dengan nilai X_L dan induktansi, ketika nilai arus yang kecil digunakan untuk menghitung nilai X_L dan induktansi, akan diperoleh nilai X_L dan induktansi yang besar.
2. Alat-alat yang digunakan. Akurasi dari alat-alat yang digunakan pada percobaan ini juga berpengaruh terhadap nilai-nilai yang didapatkan. Pada percobaan ini, multimeter hanya dapat menampilkan empat angka pada layar, sehingga semua nilai akan dibulatkan ke empat angka.
3. *Human error*. Kesalahan-kesalahan manusia, seperti ketidaktelitian dalam membaca dan mencatat angka pada alat pengukuran atau pemasangan alat pengukuran yang tidak sempurna, juga dapat memengaruhi hasil yang didapatkan.

Ada beberapa hal yang dapat dilakukan untuk mengurangi perbedaan nilai ini. Pertama, kapasitor yang digunakan sebaiknya memiliki nilai kapasitansi yang lebih besar, supaya perbedaan antara X_C dan X_L tidak terlalu besar. Kedua, alat-alat yang digunakan dapat diganti dengan alat-alat yang lebih akurat. Terakhir, untuk mengurangi dampak kesalahan manusia, percobaan dapat diulangi beberapa kali dan hasil rata-ratanya yang digunakan untuk menghitung nilai induktansi. Selain hal-hal tersebut, kami juga dapat menggunakan alat yang mampu mengukur induktansi secara langsung, sehingga nilai tidak perlu diperoleh melalui perhitungan.

KESIMPULAN

Menggunakan desain yang telah dijelaskan pada bagian metode, kami berhasil merangkai sebuah induktor solenoid dengan induktansi di atas 1mH dan volume di bawah 10 cm^3 . Dengan menggunakan rangkaian RLC seri, didapatkan nilai induktansi dari induktor sebesar 10.1254 mH . Nilai ini berbeda dengan nilai induktansi teori, yaitu 1.18435 mH . Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti nilai kapasitansi dari kapasitor yang terlalu kecil, alat-alat yang kurang akurat, serta kesalahan manusia atau *human error*.

REFERENSI

1. Halliday, David, Robert Resnick, dan Jearl Walker. 2013. *Fundamentals of Physics Extended, 10th Edition*: Wiley.

LAMPIRAN

Lampiran A

Pembagian Tugas

Kevin Ignatius Wijaya:

- Pembuatan laporan
- Pembuatan rangkaian

Averroes Aji Van Tafakur:

- Pembuatan laporan
- Pembuatan rangkaian
- Membeli baterai multimeter

Isnaini Azhar Ramadhan Wijaya:

- Pembuatan laporan
- Pembuatan rangkaian
- Pengambilan data
- Membawa multimeter

Janetta Olivia Gunawan:

- Pembelian alat & bahan
- Pembuatan rangkaian
- Pembuatan video

Abraham B. C. P. Pratomo:

- Pembuatan laporan
- Pembuatan rangkaian
- Pencatat kemajuan RBL

Bagus Isa Ahmad:

- Pembuatan rangkaian
- Pembuatan laporan

Albert:

- Pembuatan rangkaian
- Pembuatan laporan
- Membawa sarung tangan isolator

Jazila Faza Aliyya Nurfauzi:

- Membeli baterai multimeter
- Pembuatan rangkaian
- Pembuatan laporan

Danang Ihsan:

- Pembuatan laporan
- Pembuatan rangkaian

Salman Ma'arif Achsien:

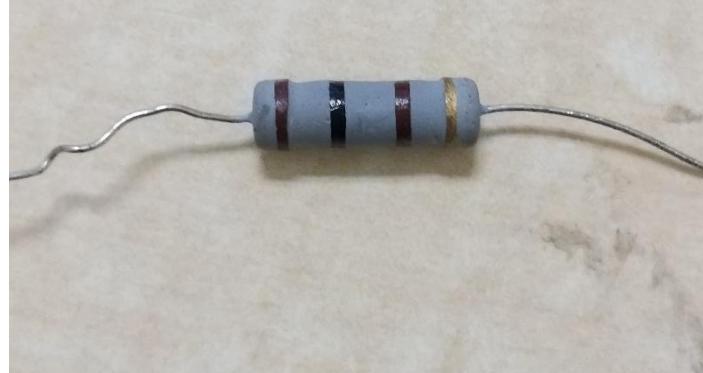
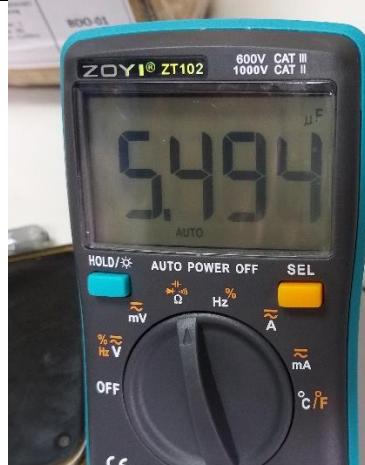
- Pembuatan laporan
- Pembuatan rangkaian

Lampiran B
Catatan Kemajuan RBL

Tanggal	Jam	Tugas/ Pekerjaan	Anggota kelompok yang hadir	Media koordinasi	Hasil	Keterangan
08/04/22	12.40 - 13.13	Pembahasan pertama RBL, pembagian tugas, penentuan desain	Abraham, Rama, Janetta, Arif, Albert, Kevin, Jazila, Danang, Isa, Ave	Zoom	<p>RANGKUMAN</p> <hr/> <p>Pembagian tugas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Praktik: Rama, Jazila, Janetta, Isa, Danang, Abraham, Albert, Ave (diusahakan Rabu pekan depan setelah alat dan bahan lengkap) - Pembelian: Sebisanya oleh Janetta; Kapasitor nonpolar, resistor 0,5 - 1 W, kawat berbahan enamel, trafo step down yang termasuk adapter {https://www.tokopedia.com/3ustore/power-supply-catu-daya-ac-12v-12vac} *Sarung tangan isolator dibawa sendiri-sendiri, AVO-meter dibawa Abraham - Laporan: Arif dan Kevin, dengan bantuan yang ikut praktik - Video: Janetta - Catatan Kemajuan: Abraham 	
13/04/22	13.05 - 17.00	Pembuatan induktor, pengrajan rangkaian, menghitung data-data yang diperlukan pertama kali	Abraham, Rama, Janetta, Arif, Albert, Kevin, Jazila, Danang, Isa, Ave	Luring	<p>RANGKUMAN</p> <hr/> <p>Induktor dan rangkaian RLC selesai dibuat, pengukuran nilai-nilai yang diperlukan sedikit gagal akibat multimeter yang kurang memadai dan nilai induktansi yang tidak sesuai hitungan teori</p>	Akan diadakan pengukuran ulang dengan multimeter yang lebih mumpuni dengan fungsi induktansi L, fungsi arus bolak-balik

Tanggal	Jam	Tugas/ Pekerjaan	Anggota kelompok yang hadir	Media koordinasi	Hasil	Keterangan
18/04/22	13.00 - 14.00	Pengambilan ulang nilai- nilai dari rangkaian	Abraham, Rama, Janetta, Arif, Albert, Kevin, Jazila, Danang, Isa, Ave	Luring	<p style="text-align: center;">RANGKUMAN</p> <hr/> <p>Data yang diambil sudah kurang lebih sesuai dengan hitungan teori, terkecuali nilai induktor, yang mungkin akan dibahas mengapa pada laporan</p>	

Lampiran C
Dokumentasi Pembuatan Rangkaian, Alat dan Bahan, serta Pengambilan Data

DATA	DOKUMENTASI
$R = 100 \Omega$	
$L = 500$ lilitan Spesifikasi Panjang = 3 cm Diameter kumparan = 1,2cm Diameter kawat = 0,3mm Jumlah lilitan = 500	
$C = 5,494 \mu F$	 

$V_S = 12 V$



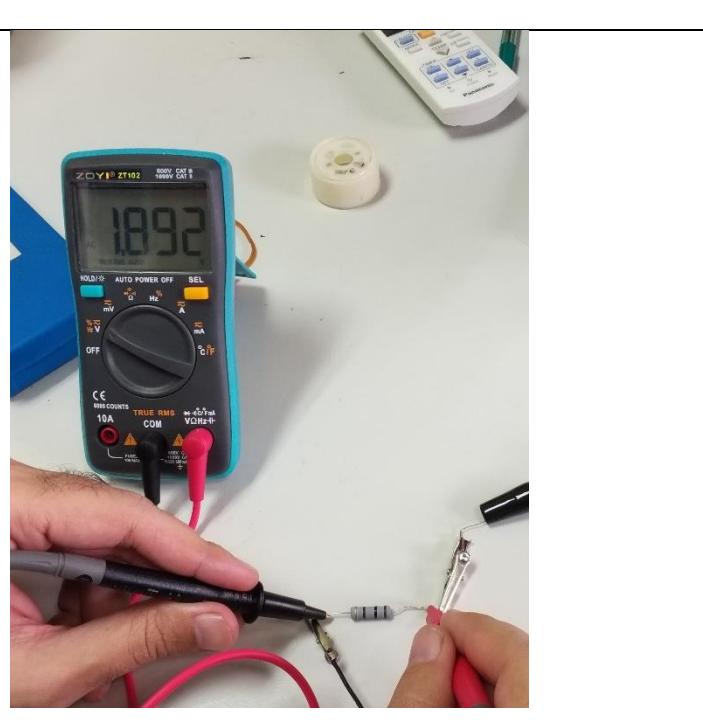
V_S rangkaian
 $= 11,36 V$



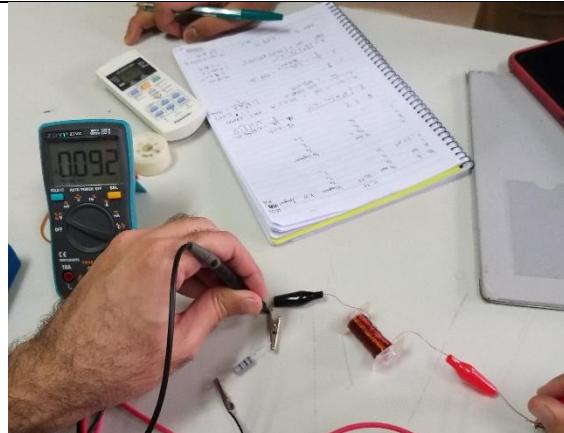
I rangkaian
 $= 18,92 mA$



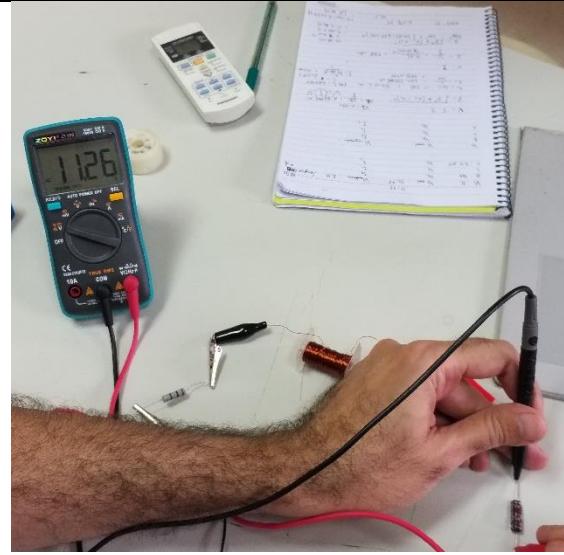
$$V_R = 1,892 \text{ V}$$



$$V_L = 0,092 \text{ V}$$



$$V_C = 11,26 \text{ V}$$



Pembuatan
rangkaian



Lampiran D

Tautan Video dari YouTube

<https://www.youtube.com/watch?v=b9DSYHncLmc>