

## Micro Coil pada 300 KHz, 500 KHz, dan 1 MHz sebagai Induktor Magnetik untuk Wireless Power Transfer

### *Micro Coil in 300 KHz, 500 KHz, and 1 MHz as Magnetic Inductors for Wireless Power Transfer*

M. Maulana Nugraha<sup>1</sup>

Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>m.maulana.nugraha@gmail.com

#### Abstrak

Penelitian dalam tugas akhir ini bertujuan untuk merancang dan merealisasikan *micro-coil* sebagai induktor magnetik untuk wireless power transfer. Tugas akhir ini melalui proses perancangan dan realisasi yaitu melalui proses perancangan dan menggunakan simulasi 3D. SRF yang didapatkan dari perhitungan matematis sebesar 297,88KHz, 499,28KHz, dan 980,01KHz. SRF yang dihasilkan menggunakan simulator sebesar 300KHz, 500KHz, dan 1MHz. Adapun hasil dari pengukuran realisasi micro coil FR4 adalah sebesar 299,5 KHz, 500,2KHz, dan 1MHz.

**Kata Kunci :** micro coil, wireless power transfer

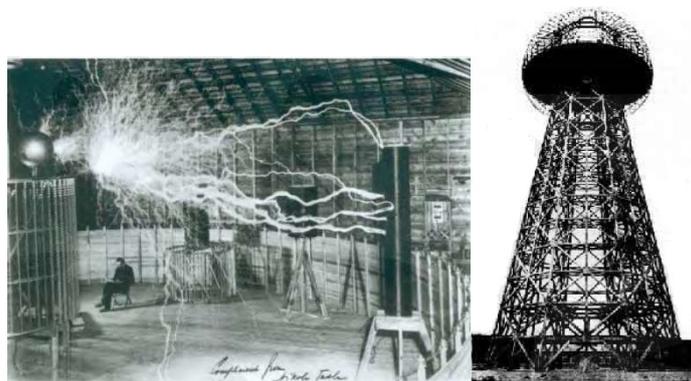
#### Abstract

Research in this final project for the purpose of making and realizing micro-coil as a magnetic inductors for wireless power transfer. This final project through the process of designing and designing and implementation. SRF obtained from mathematical calculations of 297.88KHz, 499.28KHz, and 980.01KHz. The resulting SRF uses a simulator of 300KHz, 500KHz, and 1MHz. The results of the measurement of the realization of micro coil FR4 is 299.5 KHz, 500.2 kHz, and 1MHz.

**Keywords :** micro coil, wireless power transfer

## 1. Pendahuluan

Teknologi perpindahan energi nirkabel jarak jauh pertama kali dikemukakan oleh Nicola Tesla pada akhir abad 18 akan tetapi penelitiannya tersebut ditentang oleh para ilmuwan lainnya (gambar 1 dan gambar 2). Dan dipopulerkan kembali oleh para ilmuwan MIT pada tahun 2007 dengan meneliti tentang perpindahan daya oleh magnetik induktor tersebut. Pada saat ini jaringan perpindahan daya secara nirkabel dibagi menjadi 2 kategori yaitu jarak dekat dan jarakjauh. Pada jarak dekat dibagi menjadi 2 kategori lagi yaitu kopling induktif dan kopling kapasitif. Sedangkan pada jarak jauh di bagi menjadi 3 kategori yaitu propagasi elektromagnetik, microwave, dan photo electricity. Oleh karena itu dalam jurnal ini akan mengangkat suatu ulasan yang bertemakan tentang teknologi di dalam aplikasi medis yang berjudul “ Micro-coil untuk Perpindahan Daya Nirkabel pada Aplikasi Kesehatan “.



*gambar 1 tesla coil dan menara transmitter tesla*

## 2. Dasar Teori

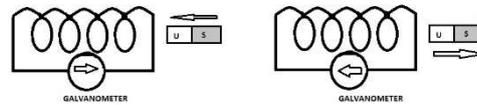
### A. Induksi Elektromagnetik

Gaya geral listrik (atau yang lebih dikenal dengan GGL) pertama kali ditemukan oleh Michael Faraday pada tahun 1821. Dari penelitiannya tersebut disimpulkan bahwa ggl nduksi adalah gaya gerak listrik yang timbul akibat adanya perubahan jumlah garis-garis gaya magnet, sedangkan arus yang mengalir didalamnya disebut arus induksi, dan peristiwanya disebut dengan induksi elektromagnetik.

## B. Dasar Hukum

### a. Hukum Faraday

Pada tahun 1831 Faraday merumuskan induksi medan listrik ke medan magnet ke suatu persamaan yang lebih dikenal dengan sebutan Hukum Faraday. Adapun bunyinya adalah “ gaya gerak listrik induksi yang timbul antara ujung-ujung suatu loop penghantar berbanding lurus dengan laju perubahan fluks magnetik yang dilingkupi oleh loop penghantar tersebut.” Adapun percobaan Faraday dapat dilihat dibawah ini (gambar3).



gambar 2 percobaan faraday

Sehingga didapatkan suatu persamaan sebagai berikut:

$$\Phi = B \cdot A \cos \theta \quad (1)$$

Dimana :  $\Phi$  = fluks magnetik  
 $B$  = induksi magnetik  
 $A$  = luas penampang  
 $\theta$  = sudut antara induksi dengan bidang normal

Adapun faktor yang mempengaruhi terjadinya GGL induksi, yaitu:

1. Kecepatan perubahan magnet
2. Banyaknya lilitan
3. Kekuatan magnet

Sedangkan untuk menimbulkan gejala GGL induksi dapat dilakukan dengan berbagai cara. Adapun caranya adalah sebagai berikut:

1. Memutar sebuah magnet didekat suatu kumparan, ataupun sebaliknya
2. Mengalirkan arus AC pada kumparan primer, sehingga pada kumparan sekunde yang didekatkan akan menimbulkan gejala GGL.
3. Mengubah-ubah arah arus kumparan primer yang didekatkan dengan kumparan sekunder.

### b. Hukum Biot-Savart

Hukum ini pertama kali dikemukakan oleh Jean Baptiste Biot dan Felix Savart pada tahun 1920-an. Adapun bunyi hukumnya adalah sebagai berikut “ Gaya yang dihasilkan oleh arus listrik yang mengalir pada suatu penghantar yang berada diantara medan magnetik.” Dari hasil percobaan mereka didapatkan suatu persamaan yaitu :

$$dB = \left[ \frac{\mu_0}{4\pi} \right] I \frac{ds \times \hat{r}}{r^2} \quad (2)$$

Atau

$$dB = \frac{\mu_0 i dl \sin\theta}{4\pi r^2} \quad (3)$$

Dimana

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

### c. Hukum Circuital Ampere

Hukum circuital yang asli adalah hukum fisika yang berada dalam situasi magnetostatic, dimana sistem ini statis kecuali untuk digunakan secara terus-menerus digunakan dalam suatu loop tertentu. Ada 2 hal yang penting mengenai hukum ini yaitu:

1. Masalah mengenai persamaan kontinuitas untuk muatan listrik
2. Mengenai propagasi gelombang elektromagnetik

## C. Resonansi

### a. Resonansi dalam fisika

Resonansi merupakan gejala alam yang banyak terdapat dalam sistem fisika. Pengertian dari resonansi itu sendiri adalah peristiwa ikut bergetarnya suatu benda karena disebabkan benda lain bergetar. Syarat terjadinya resonansi yaitu kedua benda memiliki frekuensi yang sama atau kelipatannya.

### b. Resonansi dalam elektromagnetik

Dalam elektronika, resonansi itu sendiri merupakan kondisi dimana nilai  $|H(j\omega)|$  mencapai nilai maksimum atau minimum. Suatu rangkaian dikatakan beresonansi ketika tegangan terpasang  $V$  dan arus yang dihasilkan  $I$  berada dalam satu fasa. Adapun ciri-cirinya adalah sebagai berikut:

1. Rangkaian bersifat resistif (nilai resistansinya bernilai 0).
2. Fasa ditekangan sama dengan fasa di arus.
3. Terdapat unsur imajiner

Sedangkan jenis dari resonansi itu sendiri dibagi menjadi 3 jenis yaitu:

1. Resonansi seri

2. Resonansi paralel
3. Resonansi seri-paralel

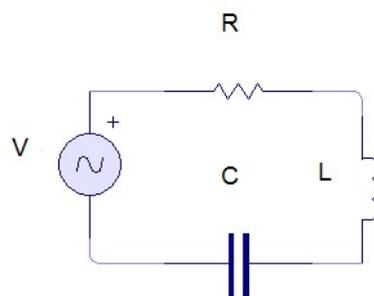
Tidak hanya rangkaian saja yang dapat beresonansi, gelombang elektromagnetik juga dapat beresonansi. Seperti yang kita ketahui bahwa gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang dapat merambat tanpa menggunakan media (perantara). Akan tetapi, untuk beresonansi gelombang elektromagnetik hanya dapat merambat hanya dalam jarak tertentu saja. Oleh karena itu untuk memperkuatnya, kita membutuhkan dua atau lebih frekuensi yang sama. Untuk dapat beresonansi dalam rentang yang masih efektif.

### c. Resonansi bersama

Prinsip dasar dari induksi elektromagnetik adalah pada saat arus bolak balik melewati suatu kumparan, maka dalam sekitar suatu kumparan tersebut akan menghasilkan suatu medan magnet. Jika pada kondisi ini diletakkan suatu kumparan lain didekat kumparan tersebut, maka kumparan pertama akan timbul juga dikumparan yang kedua. Hal ini merupakan alasan mengapa pengiriman energi tanpa kabel (nirkabel) ini dapat terjadi. Dari penjelasan tersebut dapat diartikan bahwa, resonansi bersama adalah suatu keadaan khusus dimana dapat mengirimkan energi listrik tersebut tanpa menggunakan kabel. Keadaan khusus tersebut yaitu dimana semua kumparan beresonansi dalam frekuensi yang sama.

### D. Rangkaian RLC

Berbeda dari rangkaian diatas yang hanya gabungan dari 2, pada rangkaian RLC ini merupakan gabungan dari 3 komponen pasif, yaitu komponen resistor, induktor, dan kapasitor. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini (gambar).



gambar 3 rangkaian RLC

### E. EMI dan EMC

#### a. EMI

Merupakan singkatan dari electromagnetic interference. Adalah suatu kemunculan yang disebabkan oleh emisi magnet atau listrik dari suatu peralatan atau sistem yang mempengaruhi peralatan lainnya. Untuk mencegah adanya interference elektromagnetik ini ada beberapa cara, yaitu:

1. Menekan emisi sumber
2. Membuat gandengan tidak efisien
3. Memuat penerima tidak peka terhadap emisi.

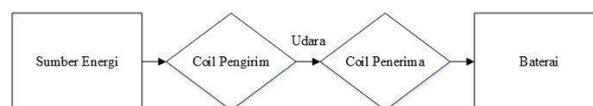
#### b. EMC

Atau electromagnetic compability muncul setelah adanya EMI. Pengertian dari emc ini sendiri adalah suatu kemampuan peralatan atau sistem untuk bekerja secara normal dilingkungan elektromagnetik tanpa terpengaruh oleh emisi peralatan lainnya. adapun parameter dari EMC ini adalah sebagai berikut:

1. Sumber
2. Kopling
3. Korban

### 3. Perancangan Sistem

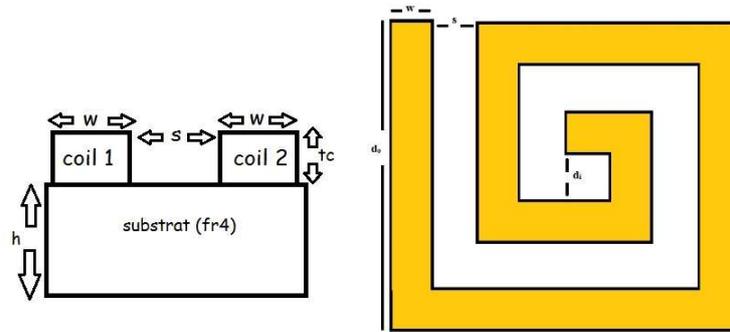
Dalam tugas akhir ini akan terdapat 2 blok yang penting yaitu transmitter (pengirim) dan receiver (penerima). Di bagian transmitter yaitu ada coil pengirim dan analog signal generator. Dan di bagian receiver yaitu ada coil penerima dan signal analyzer. Adapun diagramnya dapat dilihat di bawah (gambar 5)



gambar 4 Sistem yang dirancang

### A. Perhitungan Matematis

Sebelum masuk ke dalam perhitungan kita perlu tahu bentuk coilnya. Adapun bentuk coilnya adalah sebagai berikut:



gambar 5 Coil tampak dari Samping dan dari Atas

Adapun perhitungan manual dalam tugas akhir ini adalah dengan cara coba-coba. Dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$L = \frac{1,27 \mu_0 n^2 d_{avg}}{2} \left( \ln \frac{2,07}{\varphi} + 0,18\varphi - 0,13\varphi^2 \right)$$

Dimana :

- $L$  = induktansi (H)
- $d_o$  = diameter terluar (m)
- $d_i$  = diameter dalam (m)
- $\mu_0$  = permeabilitas vakum =  $4\pi \times 10^{-7}$  H/m
- $n$  = banyaknya coil
- $d_{avg}$  = rata - rata diameter

$$R_{dc} = \rho_c \frac{l_c}{w \cdot t_c}$$

Dimana:

- $\rho_c$  = resistivitas bahan
- $l_c$  = panjang dari coil
- $w$  = lebar coil
- $t_c$  = tinggi coil
- $R$  = Resistansi

$$C_p = C_{pc} + C_{ps} = (\alpha \epsilon_{rc} + \beta \epsilon_{rs}) \epsilon_0 \frac{t_c}{s} l_g$$

Dimana

- $C_p$  = Capasitor Coil
- $\alpha = 0,9$
- $\beta = 0,1$
- $\epsilon_{rs}$  = dielektrik konstan substrat
- $\epsilon_0$  = dielektrik konstan vakum
- $\epsilon_{rc}$  = dielektrik konstan metal

Dari perhitungan teoritis ini didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 1 Perhitungan Teoritis

Jari-jari spiral	300 $\mu$ m		
N	177	144	110
L(mH)	2,771978758	1,494660874	0,667733917
$R_{dc}(\Omega)$	120,7029143	79,73388571	46,37502857
$C_p$ (nF)	0,102901777	0,067930122	0,039466444
SRF(KHz)	297,8783758	499,2784627	980,0080542
Q faktor	42,99973267	58,82977747	88,69589654

### B. Simulasi

Simulasi yang akan dilakukan dalam tugas akhir ini adalah dengan menggunakan perangkat lunak Comsol Multiphysics.

Dari simulasi tersebut didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 2 Hasil Simulasi

Frekuensi	Induktansi	Resistansi
300 kHz	2,72825 mH	120,55701
500 kHz	1,50883 mH	76,59456

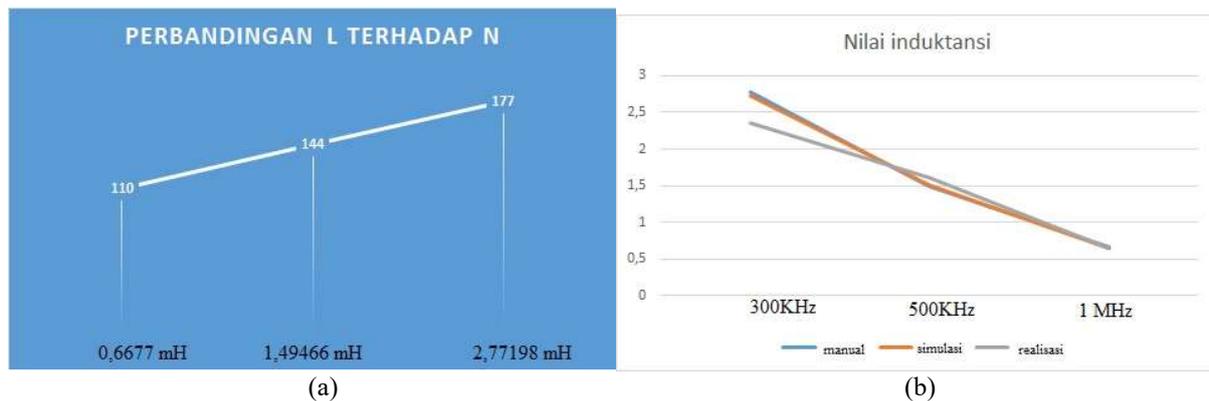
1 MHz	0,6499 mH	45,30488
-------	-----------	----------

#### 4. Pengukuran dan Analisis

Berikut adalah tabel hasil pengukuran dari perhitungan manual, simulasi, dan realisasi alat.

Tabel 3 Perbandingan Perhitungan

Perhitungan Manual			
Frekuensi	300KHz	500KHz	1MHz
Resistansi ( $\Omega$ )	120,7029	79,7339	46,375
Induktansi (mH)	2,77198	1,49466	0,6677
Kapasitansi (nF)	0,1029	0,0679	0,0395
Q-Faktor	42,9997	58,8298	88,6959
SRF (KHz)	297,87	499,2784	980,008
Perhitungan Simulasi			
Frekuensi	300KHz	500KHz	1MHz
Resistansi ( $\Omega$ )	120,5570	76,5946	45,3049
Induktansi (mH)	2,7283	1,5088	0,6499
Kapasitansi (pF)	-	-	-
Q-Faktor	42,6572	61,8860	90,1325
SRF (KHz)	300	500	1000
Realisasi			
Frekuensi	300KHz	500KHz	1MHz
Resistansi ( $\Omega$ )	153,6	148,9	59,4
Induktansi (mH)	2,35	1,6128	0,638903
Kapasitansi (pF)	122,072	62,9	36,8
Q-Faktor	28,79	34,04	67,58
SRF (KHz)	299,5	500,2	1000



gambar 6 (a) perbandingan L terhadap banyaknya coil (b) perbandingan nilai frekuensi terhadap induktansi

Terlihat bahwa semakin besar nilai suatu induktansi maka banyaknya coil juga semakin meningkat. Dan semakin tinggi frekuensi yang diinginkan maka semakin kecil nilai induktansinya.

#### 5. Kesimpulan

Setelah mengamati dan menganalisis semua perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa:

- Semakin tinggi frekuensi, semakin kecil bentuk dari *coil* tersebut. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi frekuensi, semakin sedikit banyaknya coil yang dibutuhkan.
- Semakin tinggi frekuensi, maka nilai RLC tersebut akan semakin kecil. Berkebalikan dengan nilai Q-faktornya, semakin tinggi frekuensi maka nilai Q-faktor semakin tinggi pula.
- Semakin jauh jaraknya maka daya yang terkirim juga kecil.
- Adapun nilai dari SRF dari perhitungan manual adalah 297,87 KHz, 499,28 KHz, dan 980,01KHz.
- Adapun nilai SRF dari percobaan simulasi adalah 300 KHz, 500 KHz, dan 1 MHz.
- Dan nilai SRF dari realisasi alat adalah 299,5 KHz, 500,2 KHz, dan 1 MHz.

### Daftar Pustaka

- [1] M. Soljagic, A. Karalis, S. Fan dan B. Carlson, *The Power of Induction*, Amerika Serikat: MIT, 2007.
- [2] Wink, "<http://www.biografiku.com>," 12009. [Online]. Available: <http://www.biografiku.com/2009/01/biografi-michael-faraday.html>.
- [3] M. Teacher, "<http://www.berpendidikan.com>," 22 Oktober 2015. [Online]. Available: <http://www.berpendidikan.com/2015/10/gaya-gerak-listrik-ggl-induksi-pada-kumparan-oleh-faraday.html>.
- [4] "fisikazone.com," 3 September 2014. [Online]. Available: <http://fisikazone.com/medan-magnet-di-sekitar-kawat-berarus/>.
- [5] M. Ikhsan Setiawan, "Sumber-Sumber Medan Magnetik," dalam *Fisika Dasar II*, Yogyakarta, 2009.
- [6] D. N. Soni, "Ampere's Circuital Law and its Applications," dalam *Electricity and Magnetism*, New Delhi, University of Delhi, 2012.
- [7] M. Ramdhani, dalam *Rangkaian Listrik*, Bandung, Sekolah Tinggi Teknologi Telkom, 2005.
- [8] M. Ramdhani, dalam *Elektronika I*, Bandung, Institut Teknologi Telkom, 2008.
- [9] S. K. I. F. S. T. Ashraf B. Islam, "Design and Optimization of Printed Circuit Board Inductors for Wireless Power Transfer System," 2013.
- [10] [www.pengertianahli.com](http://www.pengertianahli.com), "[www.pengertianahli.com](http://www.pengertianahli.com)," Februari 2014. [Online]. Available: <http://www.pengertianahli.com/2014/02/pengertian-resonansi.html>.
- [11] S. M. Raditiana Patmasari, *Modul Praktikum Rangkaian Listrik*, Bandung: Universitas Telkom, 2016.
- [12] B. M. Panggabean, H. Halomoan dan N. Purwasih, *Perancangan Sistem Transfer Energi Secara Wireless Dengan Menggunakan Teknik Resonansi Induktif Medan Elektromagnetik*, Bandar Lampung: Universitas Lampung, 2014.
- [13] S. N. P, M. Y. H dan F. Harwan, *Pengujian EMC Terhadap Wireless LAN IEEE 802.11*, Riau: Politeknik Caltex Riau.
- [14] M. Amato, F. Dalena, C. Coviello, M. D. Vittorio dan S. Petroni, *Modeling, fabrication and characterization of micro-coils as magnetic inductors*, Italy: Elsevier B.V., 2013.
- [15] D. Sundayati, "<http://stayhumble9.blogspot.co.id>," Mei 2015. [Online]. Available: <http://stayhumble9.blogspot.co.id/2015/05/makalah-teknologi-di-bidang-kesehatan.html>.
- [16] S. Karnes, *Melanoma Screening and Melafind*, Amerika Serikat: University of Rhode Island, 2013.
- [17] R. Trippers, "[www.youtube.com](http://www.youtube.com)," 31 Oktober 2014. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=BBpwZoxG3d0>.
- [18] S. M. Mohamad Ramdhani, *Elektronika I*, Bandung: Institut Teknologi Telkom, 2008.
- [19] CST, "[www.cst.com](http://www.cst.com)," [Online]. Available: <https://www.cst.com/products/cstems>.

