

# Perancangan Sistem Transfer Energi Secara Wireless Dengan Menggunakan Teknik Resonansi Induktif Medan Elektromagnetik

Berri M Panggabean, Herman Halomoan, Nining Purwasih

Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung  
Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145  
[berri\\_m\\_panggabean@yahoo.co.id](mailto:berri_m_panggabean@yahoo.co.id)

---

## Abstrak

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok yang sangat penting dalam kehidupan manusia saat ini, di mana sampai saat ini pengiriman energi listrik komersial tegangan rendah 220 volt masih mempergunakan kabel listrik. Salah satu cara pengiriman atau transfer energi listrik yang terus dikembangkan sampai saat ini adalah transfer energi listrik *wireless*. Transfer energi listrik *wireless* memiliki beberapa kelebihan dibandingkan menggunakan kabel yaitu dapat meningkatkan kenyamanan dalam penggunaan peralatan listrik dan dapat mengurangi jumlah sampah elektronik. Metode yang digunakan untuk transfer energi *wireless* pada tugas akhir ini menggunakan teknik resonansi induktif medan elektromagnetik. Pengguna membuat dua buah kumparan tembaga berbentuk selenoid yang digunakan untuk menghasilkan induktansi bersama. Rangkaian transfer energi listrik wireless terdiri dari dua yaitu rangkaian pengirim dan rangkaian penerima. Rangkaian pengirim terdiri dari rangkaian LC osilasi dan rangkaian penerima merupakan penggabungan beberapa komponen elektronika. Realisasi alat bekerja dengan baik dengan pengaturan komponen yang sesuai. Namun pengaruh jarak dan sudut kemiringan antar kumparan sangat mempengaruhi nilai energi listrik yang mampu ditransfer. Semakin jauh jarak antar kumparan, maka semakin kecil energi yang mampu ditransfer, demikian juga dengan sudut kemiringan kumparan. Semakin miring sudut kumparan penerima, maka semakin kecil energi listrik yang dihasilkan.

Kata kunci : induktansi bersama, kumparan tembaga, rangkaian pengirim, rangkaian penerima, transfer energi *wireless*.

---

## Abstract

Electrical energy is one of the basic needs that are essential in human life today, where until today the delivery of electrical energy commercial low voltage 220 volts still using power cable. One way of delivery or transfer of electric energy are constantly being developed to date is the transfer of electrical energy wireless. Transfer of electrical energy wireless has several advantages over using a cable that can increase comfort in the use of electrical equipment and can reduce the amount of electronic waste. The method used for wireless energy transfer in this paper uses an resonance techniques inductive electromagnetic field. User create two shaped copper solenoid coils used to generate the mutual inductance. Wireless electrical energy transfer circuit consists of two circuits that the transmitter and receiver circuit. Transmitter circuit consists of a series LC oscillation and receiver circuit is a merger several electronic components.

Realization tool works well with setting the appropriate components. However, the effect of distance and tilt angle between the coil greatly affect the value of the electricity that is able to be transferred. The farther away the distance between the coils, the smaller energy capable to be transfer. as well as the slope angle the coil. The more sloping angle of the receiver coil, the smaller the electric energy is generated.

Key word : mutual inductance, copper coils, transmitter circuit, receiver circuit, wireless energy transfer

## I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok yang sangat penting dalam kehidupan manusia saat ini, di mana sangat banyak aktifitas manusia menggunakan energi listrik. Sampai saat

ini pengiriman energi listrik komersial tegangan rendah 220 volt masih mempergunakan kabel listrik.

Pengiriman energi listrik *wireless* pertama kali dibuktikan oleh Nikola Tesla pada tahun 1893. Nikola Tesla melakukan penelitian transfer

energi *wireless* dengan membangun menara Wardenclyffe di Shoreham, Long Island, yang berfungsi sebagai sarana telekomunikasi nirkabel dan pengiriman daya listrik[1]. Nikola Tesla mampu mengirimkan energi listrik *wireless* dari menara Wardenclyffe untuk menyalakan sebuah lampu pijar. Upaya pengembangan transfer energi listrik *wireless* terus dikembangkan namun *relative* tidak memberikan hasil yang memadai sampai pada tahun 2007 para peneliti dari MIT mendemonstrasikan pengiriman energi listrik *wireless* yang diberi nama WiTricity. Pada penelitian tersebut, energi listrik dengan daya 60 Watt dapat ditransfer secara nirkabel pada jarak sekitar 2 meter dengan efisiensi mencapai 40% [2].

Penelitian terhadap transfer energi listrik *wireless* sangat penting dilakukan dikarenakan transfer energi listrik menggunakan *wireless* memiliki kelebihan dibandingkan transfer energi menggunakan kabel. Salah satu contoh adalah *Wireless Charging Pad* (WCP)[3]. WCP merupakan alat untuk *mencharge* Hp dan kamera di mana Hp atau kamera hanya perlu di letakan di atas WCP (berbentuk bantalan) dan baterai langsung terisi. Pengisian ulang baterai Hp secara nirkabel ini akan mampu meningkatkan kenyamanan pemakaian peralatan khususnya peralatan elektronik berdaya rendah.

Penelitian untuk tugas akhir ini merupakan perancangan *prototype* transfer energi listrik *wireless* dengan tegangan 11 V dan 13 V. Energi listrik yang ditransfer menggunakan teori resonansi induktif medan elektromagnetik. Transfer energi medan elektromagnetik secara induktif merupakan transmisi energi *wireless* medan magnet untuk jarak dekat[4].

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Medan Elektromagnetik

#### 1. Medan Listrik, Medan Magnet dan Gelombang Elektromagnetik<sup>[7]</sup>

Percobaan James Clerk Maxwell (1831–1879) seorang ilmuwan berkebangsaan Inggris (Scotlandia) menyatakan apabila dalam kawat PQ terjadi perubahan-perubahan tegangan baik besar maupun arahnya, maka dalam kawat PQ elektron bergerak bolak-balik, dengan kata lain dalam kawat PQ terjadi getaran listrik. Perubahan

tegangan menimbulkan perubahan medan listrik dalam ruangan di sekitar kawat, sedangkan perubahan arus listrik menimbulkan perubahan medan magnet. Proses perubahan medan listrik akan menimbulkan medan magnet yang berubah-ubah dan perubahan medan magnet yang terjadi akan menimbulkan kembali medan listrik.

### 2. Induksi Elektromagnetik

Induksi elektromagnetik adalah peristiwa timbulnya GGL (Gaya Gerak Listrik) pada suatu penghantar atau kumparan akibat mengalami perubahan garis-garis gaya magnet (fluks magnetik).

Menurut percobaan Michael Faraday, medan magnet yang berubah-ubah nilai fluksnya dapat menghasilkan arus listrik. Faraday menyimpulkan medan magnet konstan tidak dapat menghasilkan arus, namun perubahan fluks medan magnetik di dalam suatu rangkaian bahan penghantar akan menimbulkan tegangan induksi pada rangkaian tersebut (hukum faraday).[5]

### B. Induktansi

Timbulnya induktansi karena adanya medan magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik (dijelaskan oleh hukum Biot-Savart). Hukum Biot-Savart menyatakan bahwa gaya gerak listrik akan dihasilkan oleh arus listrik yang mengalir pada suatu penghantar yang berada diantara medan magnetik. Supaya suatu rangkaian elektronika mempunyai nilai induktansi, maka sebuah komponen bernama induktor digunakan di dalam rangkaian tersebut. Sebuah induktor adalah komponen elektronika pasif dua terminal yang menyimpan energi dalam medan magnet

#### 1. Induktansi Sendiri (*Self inductance*)

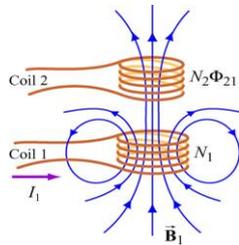
Induktansi sendiri adalah munculnya tegangan listrik pada suatu kumparan pada saat terjadinya perubahan arus. Apabila suatu kawat penghantar berpotongan dengan medan magnet, maka akan terjadi tegangan pada kawat tersebut.

#### 2. Induktansi Bersama (*Mutual Inductance*)

Induktansi bersama (*mutual inductance*) terdiri dari dua buah kumparan ( $N_1$  dan  $N_2$ ) atau belitan induktor yang saling berdekatan. Proses

terjadinya induktansi bersama ketika kumparan  $N_1$  dialiri arus maka akan timbul fluks magnetik. Fluks magnetik pada kumparan  $N_1$  akan merambat ke kumparan  $N_2$  dan menimbulkan induksi medan magnet pada kumparan  $N_2$ . Fluks medan magnet pada kumparan  $N_2$  akan menghasilkan gaya gerak listrik induksi pada rangkaian kumparan  $N_2$ .

Tegangan induksi bersama didefinisikan ketika arus ( $i$ ) mengalir melalui kumparan, maka di sekeliling kumparan akan timbul fluks magnetik ( $\phi$ ). Berdasarkan hukum Faraday, pada kumparan yang mengalami perubahan medan magnet akan menghasilkan tegangan induksi sebesar  $V$  yang sebanding dengan perkalian jumlah belitan  $N$  dengan perubahan fluks ( $\phi$ ) perwaktu.



Gambar 1. Induktansi Bersama  $M_{21}$  pada Kumparan  $N_2$  yang Diakibatkan Kumparan  $N_1$

Induktansi bersama (simbol:  $M$ ) terdiri dari dua buah induktor yang saling berinduksi dengan persamaan:

$$M_{21} = N_1 \cdot N_2 \cdot P_{21} \quad (1)$$

$$M_{21} = M_{12} \quad (2)$$

Keterangan:

$M_{21}$  = Nilai induktansi bersama di mana menunjukkan keterkaitan GGL yang terinduksi dalam kumparan 2 disebabkan oleh perubahan arus dalam kumparan 1

$N_1$  = Jumlah lilitan pada kumparan 1

$N_2$  = Jumlah lilitan pada kumparan 2

$P_{21}$  = Permeansi ruang dimana fluks magnetik berada.

Indikator keterkaitan antar kumparan gandeng dinyatakan sebagai koefisien kopling. Koefisien kopling bernilai antara 1 dan 0, dan dinyatakan sebagai persamaan:

$$M = k \sqrt{L_1 L_2} \quad (3)$$

Keterangan:

$k$  = Koefisien kopling ( $0 \leq k \leq 1$ )

$L_1$  = Nilai induktansi kumparan pertama

$L_2$  = Nilai induktansi kumparan kedua

Jika kedua sisi kumparan adalah rangkaian LC dimana frekuensi tegangan menjadi penting. Nilai induktansi bersama antara dua kumparan menentukan bentuk kurva respon frekuensi. Kurva respon frekuensi terdiri dari sebagai *loose-coupling*, *critical-coupling*, dan *over-coupling*. Jika kurva respon frekuensi rangkaian kumparan adalah *loose-coupling*, maka ukuran *bandwidth*nya akan sempit. Ketika nilai induktansi bersama ditingkatkan, ukuran *bandwidth* pada respon kurva frekuensi ikut naik. Namun saat nilai induktansi bersama telah melampaui titik kritis, respon *bandwidth* akan mulai menurun.

### C. Tranfer Energi Wireless

#### 1. Penelitian Transfer Energi *Wireless*

Transfer energi *wireless* adalah proses di mana energi listrik yang ditransmisikan dari sumber listrik ke beban tanpa menggunakan kabel (nirkabel). Berlandaskan hasil pekerjaan dari Michael Faraday (1830), James C. Maxwell (1864) dan Heinrich R. Hertz (1888), Tesla mendemonstrasikan eksperimen transfer energi secara *wireless* pada tahun 1893. Nicola Tesla menciptakan sebuah metode di mana energi dapat disalurkan dari jarak jauh secara *wireless*, dengan membangun Menara Wardenclyffe di Shoreham, Long Island yang berfungsi sebagai sarana telekomunikasi nirkabel dan pengiriman daya listrik. Tesla berhasil mengirim energi listrik sejauh 47 meter untuk menyalakan sebuah lampu pijar. [1]

Pada tahun 1985 Guglielmo Marconi mendemonstrasikan transmisi radio jarak lebih dari 1.5 miles[6]. Teori yang Marconi pergunakan adalah hubungan antara ketinggian antena dan maksimum jarak pengiriman berdasarkan teori empiris.

Pada tahun 1904 di pameran St. Louis World's sebuah kapal terbang diterbangkan sejauh kurang lebih 100 kaki (30 meter) menggunakan transmisi energi yang dipancarkan melewati ruang dengan daya motor 0.1 Hp (75 watt) [7].

Pada tahun 1945, Leon Theremin menemukan alat spionase untuk Uni Soviet, yang memancarkan kembali kejadian gelombang radio dengan informasi audio[8]. Alat ini dianggap sebagai pendahulu dari teknologi RFID (Radio Frequency Identification). RFID adalah teknologi yang menggunakan gelombang radio untuk

mengidentifikasi atau objek secara otomatis dengan menggunakan *tag*.

Pada tahun 1964, telah didemonstrasikan helikopter miniatur yang digerakan oleh daya *microwave* (gelombang Mikro) [9]. *Microwave* (Gelombang Mikro) adalah gelombang elektromagnetik dengan frekuensi super tinggi (SHF), yaitu di atas 3 GHz ( $3 \times 10^9$  Hz). Sebuah demonstrasi pertama dari pemantulan sinyal tag RFID dilakukan oleh Steven Depp, Alfred Koelle dan Robert Freyman di Labotarium Nasional Los Almos pada tahun 1973[9]. Hidetsugu Yagi seorang peneliti dari Jepang juga melakukan penelitian transfer energi secara *microwave* dengan mendesain *directional array antenna* (penyusunan antena secara direksional) [10]. Pada tahun 1975, para peneliti di Goldstone (California) membuat penemuan yang dapat mentransfer energi mencapai kilowatts menggunakan transmisi gelombang mikro dengan jarak mencapai satu kilometer[12].

Penelitian transfer energi secara wireless yang dilakukan oleh Marrin Soljagic dari MIT yang proyeknya diberi nama WiTricity pada tahun 2007[2]. Saat penelitian transfer energi, Marrin Soljagic menggabungkan teori resonansi dan kopling induktif atau disebut resonansi kopling induktif (RIC). Fungsi resonansi adalah untuk meningkatkan efisiensi jarak garis gaya medan magnet dan memperluas jarak pengiriman transfer energi ke sisi pengirim (RX) dengan frekuensi yang sama. Marrin Soljack mampu mengirimkan energi dengan jarak mencapai 2 meter dengan efisiensi mencapai 40% menggunakan frekuensi antara 1MHz-10 MHz.

Penelitian transfer energi oleh Mandip Jung Sibakoti and Joey Hambleton didasari oleh hasil karya MIT yang dipublikasikan pada tahun 2007. Tujuan utama penelitian Mandip Jung Sibakoti adalah untuk mentransfer energi (dalam satuan watt) ke rangkaian penerima RX dari gelombang AC yang berisolasi menjadi tegangan DC sebagai hasil keluarannya. Mandip Jung Sibakoti menggunakan radio frekuensi antara 1 MHz - 20 MHz[12].

## 2. Prinsip Kerja Transfer Energi Wireless

Prinsip kerja transfer energi listrik *wireless* hampir sama dengan prinsip kerja transformator. Proses terjadinya transfer energi, ketika sumber tegangan menyalurkan arus bolak-balik ke

rangkaian kumparan TX (rangkaiannya pengirim energi listrik), maka di rangkaian kumparan TX akan menghasilkan medan magnetik di sekeliling kumparan. Medan magnet pada kumparan akan menciptakan garis-garis gaya medan magnetik. Kumparan TX yang menghasilkan medan magnet, kemudian menginduksi (induksi bersama) kumparan RX (rangkaiannya penerima energi listrik) dengan syarat kumparan RX harus berada di area garis gaya medan magnetik kumparan RX. Hasil induksi bersama menghasilkan medan magnet di kumparan RX.

Pada rangkaian TX terjadi perubahan nilai tegangan sehingga menimbulkan perubahan medan listrik yang mengalir di rangkaian TX. Perubahan medan listrik terhadap waktu akan menimbulkan perubahan fluks medan magnet di sekeliling kumparan TX. Perubahan nilai medan magnet pada kumparan TX menciptakan berubahnya medan yang diinduksi pada kumparan RX. Perubahan tersebut menghasilkan berubahnya medan magnet di kumparan TX. Medan magnet pada kumparan RX yang berubah-ubah terhadap waktu akan menghasilkan medan listrik dan menimbulkan tegangan induksi pada rangkaian kumparan RX.

## 3. Resonansi Induktif Medan Elektromagnetik

Penggunaan resonansi induktif medan elektromagnetik untuk meningkatkan *bandwith* gelombang medan elektromagnetik dengan menggunakan frekuensi yang sama antara sinyal pengirim dan sinyal penerima, sehingga jarak pengiriman energi listrik *wireless* menjadi lebih jauh dengan efisiensi daya yang lebih tinggi<sup>[19]</sup>. Frekuensi yang digunakan menggunakan frekuensi tinggi menggunakan rangkaian osilator (variasi dan gabungan dari komponen kapasitor, induktor, dan transistor).

## III. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan untuk membuat *prototype* transfer energi listrik *wireless* pada tugas akhir ini menggunakan solusi *resonansi induktif elektromagnetik* pada rangkaian pengirim dan rangkaian penerima.

## 1. Rangkaian Pengirim (TX)

Rangkaian TX merupakan gabungan beberapa komponen elektronika yang digabungkan menjadi satu rangkaian yang berfungsi untuk mengirimkan energi listrik menuju rangkaian RX tanpa menggunakan kabel sebagai perantara (*wireless*). Rangkaian TX terdapat beberapa komponen yang terdiri dari:

### a. Rangkaian osilasi

Rangkaian osilasi merupakan rangkaian yang digunakan untuk mengkonversi daya DC ke variasi sinyal AC dengan frekuensi yang telah ditentukan. Rangkaian osilasi yang dibuat untuk menghasilkan gelombang frekuensi sinusoidal. Gelombang frekuensi sinusoidal dipergunakan untuk meningkatkan efisiensi energi yang ditransfer. Syarat yang dibutuhkan untuk menghasilkan rangkaian osilasi adalah:

#### 1. Sumber tegangan DC

Sumber tegangan DC menggunakan adaptor. Adaptor berperan mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC.

#### 2. Amplifier (penguat)

*Amplifier* adalah rangkaian komponen elektronika yang dipakai untuk menguatkan daya atau tenaga secara umum. *Amplifier* akan menguatkan signal yaitu memperkuat signal arus dan tegangan listrik dari inputnya. Sedangkan outputnya akan menjadi arus listrik dan tegangan yang lebih besar.

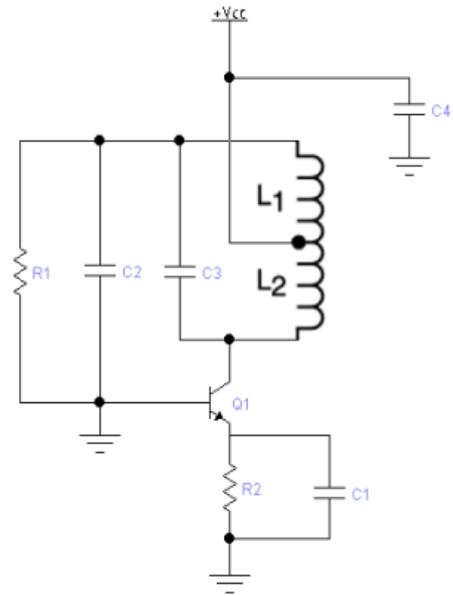
#### 3. Umpan Balik Positif

Umpan balik positif (H) berfungsi untuk mengembalikan kembali bagian dari sinyal keluaran amplifier ke tahap input amplifier.

#### 4. Rangkaian penentu frekuensi

Rangkaian penentu frekuensi berfungsi untuk menentukan nilai frekuensi yang akan dihasilkan. Rangkaian penentu frekuensi merupakan bagian dari kombinasi rangkaian kapasitor dan induktor yang dipasang secara paralel untuk menghasilkan LC osilasi. Nilai frekuensi yang dihasilkan ditentukan oleh besarnya nilai kapasitor (C) dan nilai induktansi (L) pada rangkaian LC osilasi.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}} \quad (4)$$



Gambar 2. Rangkaian Ekuivalen Osilasi Hartley

### b. Kumparan TX

Kumparan TX adalah tembaga yang berbentuk selenoid dengan panjang, luas penampang serta diameter yang telah ditentukan untuk menginduksi kumparan RX. Kumparan TX berfungsi untuk menghasilkan fluks medan magnet di rangkaian TX.

## 2. Rangkaian Penerima (RX)

Rangkaian penerima (RX) merupakan gabungan beberapa komponen elektronika yang digabungkan menjadi satu rangkaian yang berfungsi untuk menerima energi listrik yang ditransfer oleh rangkaian pengirim (TX). Komponen rangkaian RX terdiri dari:

### 1. Kapasitor Foil

Kapasitor adalah dua buah lempengan logam yang saling sejajar satu sama lain dan diantara kedua logam tersebut terdapat bahan isolator sehingga mampu menyimpan muatan listrik yang besar untuk sementara waktu. Kapasitor pada kumparan rangkaian pengirim berfungsi untuk menghasilkan resonansi kapasitor. Resonansi kapasitor berfungsi untuk memaksimalkan energi yang ditransfer.

### 2. Dioda

Dioda merupakan sebuah komponen elektronika yang memiliki dua buah

elektroda di mana elektroda berpolaritas positif disebut anoda dan elektroda yang berpolaritas negatif disebut Katoda. Dioda yang dipakai dalam rangkaian pengirim adalah 1N4148. Fungsi dioda ini untuk penyearah arus yang hanya dapat mengalirkan arus satu arah saja dan tidak dapat mengalirkan arus sebaliknya.

### 3. Kumparan RX

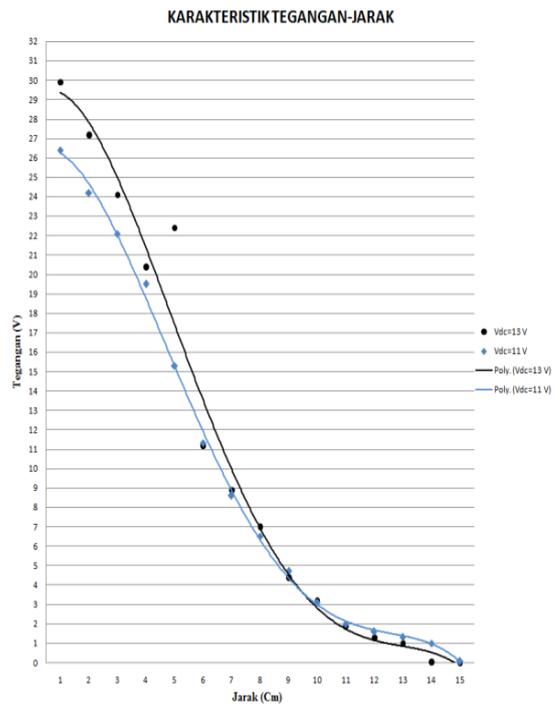
Kumparan RX adalah tembaga yang berbentuk selenoid dengan panjang, luas penampang serta diameter yang telah ditentukan untuk menghasilkan induksi (induksi bersama) dan menghasilkan energi listrik pada rangkaian RX.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan menggunakan adaptor tegangan DC dengan tegangan sebesar 11 V dan 13 V. Adaptor berfungsi untuk membangkitkan induksi medan elektromagnetik pada rangkaian TX. Rangkaian TX dan rangkaian RX diletakkan saling berhadapan dengan sudut antar kumparan adalah  $0^\circ$ . Mengubah jarak antar kumparan untuk melihat perubahan energi yang mampu diterima oleh rangkaian RX. Untuk melihat besarnya nilai energi yang dikirim, dilakukan pemasangan multimeter digital. Multimeter digital kutub positif dan negatif dipasang di kedua ujung kapasitor  $C_6$ .

Tabel 1. Nilai Tegangan pada Rangkaian RX dengan Perubahan Jarak

$V_{input} = 11 \text{ V}$		$V_{input} = 13 \text{ V}$	
Jarak (cm)	Tegangan (V)	Jarak (cm)	Tegangan (V)
1	26,4	1	29,9
2	24,2	2	27,2
3	22,1	3	24,1
4	19,5	4	20,4
5	15,3	5	22,4
6	11,3	6	11,2
7	8,6	7	8,9
8	6,5	8	7,02
9	4,7	9	4,4
10	3,1	10	3,2
11	2	11	1,9
12	1,6	12	1,3
13	1,3	13	1
14	1	14	0,06
15	0,07	15	0



Gambar 3. Grafik Hubungan antara Tegangan dan Jarak saat  $V_{dc}$  11 V dan 13 V

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa jarak antara kumparan TX dan kumparan RX mempengaruhi tegangan yang terbaca pada multimeter yang terpasang di  $C_6$ . Semakin jauh rentang jarak (cm) antara kedua kumparan, nilai tegangan yang diperoleh dari induksi medan magnetik juga semakin kecil. Sehingga bentuk grafik yang dihasilkan semakin landai.

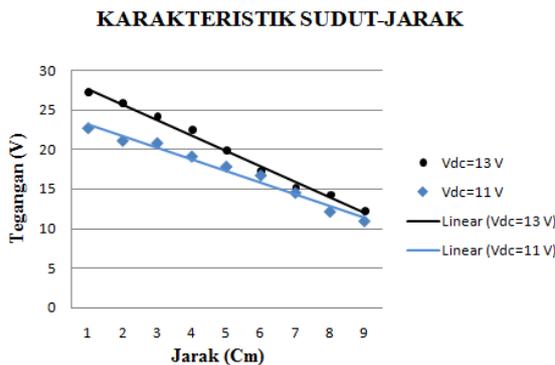
Nilai energi yang dikirim bergantung pada nilai induktansi bersama yang dihasilkan. Nilai induktansi bersama dipengaruhi oleh koefisien kopling ( $k$ ). Nilai koefisien kopling bernilai antara  $0 \leq k \leq 1$ . Semakin besar jarak pengirim maka semakin kecil nilai koefisien kopling dan akhirnya bernilai 0. Saat nilai koefisien kopling bernilai 0 maka tidak terjadi induksi bersama dan tidak ada energi yang mampu dikirim. Koefisien kopling bernilai 1 saat jarak antara kumparan bernilai 0 cm.

Peningkatan energi yang dikirim terhadap energi sumber ( $V_{cc}$ ) pada jarak 1 cm hingga 5 cm karena pada sisi pengirim rangkaian, nilai induktansi mengalami penguatan tegangan akibat adanya amplifier. Saat jarak 6 cm hingga 10 cm terjadi pengurangan energi listrik yang signifikan. Hal ini terjadi karena fluks medan magnet yang diterima kumparan RX semakin melemah.

Pada gambar di atas diamati bahwa perubahan nilai tegangan input dc 13 V mempengaruhi jumlah energi yang dikirim. Perubahan nilai energi yang dikirimkan berbanding lurus dengan energi input yang diberikan. Semakin besar energi input maka semakin besar energi yang dikirimkan.

Tabel 2. Nilai Tegangan pada Rangkain RX dengan Perubahan Sudut

V <sub>input</sub> = 11 V		V <sub>input</sub> = 13 V	
Sudut	Tegangan (V)	Sudut	Tegangan (V)
10	22,7	10°	27,2
20°	21,1	20°	25,8
30°	20,8	30°	24,1
40°	19,1	40°	22,4
50°	17,8	50°	19,9
60°	16,7	60°	17,3
70°	14,5	70°	15,2
80°	12,10	80°	14,3
90°	10,9	90°	12,2



Gambar 4. Grafik Hubungan antara Tegangan dan Sudut kemiringan pada Rangkaian RX saat V<sub>dc</sub> 11 V dan 13 V

Dari grafik pada gambar 4 menunjukkan nilai tegangan yang mampu dikirim dipengaruhi oleh sudut kemiringan kumparan RX. Semakin besar kemiringan sudut fasa kumparan RX, maka energi yang mampu dikirimkan akan semakin kecil. Hal ini disebabkan karena fluks medan magnet yang diterima kumparan RX antara  $1 < B \leq \frac{1}{2}$  kali fluks medan magnet yang dihasilkan kumparan TX.

Saat sudut 0° maka fluks yang diterima bernilai maksimal. Saat kumparan penerima berada di ujung kumparan pengirim (sudut 90°), fluks medan magnet berkurang  $\frac{1}{2}$  dari fluks medan magnet yang mampu dikirim, sehingga energi listrik yang mampu diterima hanya  $\frac{1}{2}$  dari energi

yang dikirimkan. Hal ini karena perubahan fluks medan magnetik mempengaruhi perubahan nilai induksi bersama antar kumparan. Semakin kecil nilai fluks yang mampu diterima, maka semakin kecil nilai induksi bersama antara kumparan pengirim dan kumparan penerima.

Perubahan nilai induksi mempengaruhi energi medan magnet yang mampu disimpan kumparan penerima. Semakin kecil energi medan magnet yang diterima, maka semakin kecil energi medan magnet yang dapat dikonversi menjadi energi listrik.

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Induksi medan magnetik bersama mampu mengirimkan energi listrik secara *wireless*.
2. Resonansi osilasi LC sangat diperlukan untuk meningkatkan efisiensi pengiriman energi.
3. Semakin besar jarak antar kumparan, maka semakin kecil tegangan yang mampu ditrasfer secara *wireless*.
4. Perubahan sudut pada kumparan TX dapat mempengaruhi jumlah nilai tegangan yang mampu ditrasfer secara *wireless*.

### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisa dan kesimpulan dari penelitian, maka penulis memberikan saran yaitu:

1. Penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan daya yang lebih besar dengan memperhatikan nilai resistor, kapasitor dan jumlah kumparan agar dapat mengirimkan energi listrik yang lebih besar.
2. Penelitian selanjutnya menggunakan resonansi frekuensi osilasi yang lebih besar (MHz), agar jarak yang dikirim semakin efisien.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Valone, F, Thomas. 2003. *Tesla's Wireless Energy For the 21st Centur*. ExtraOrdinary Technology Volume 1, Issue 4.
- [2] Soljac, Marin., André, Kurs., Aristeidis, Karalis., Robert, Moffatt.,J, D, Joannopoulos, and Peter, Fisher.2007. *Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances*. SCIENCE Journal, Vol 317, Cambridge, Massachusetts, United States, pp: 83-86.
- [3] Rakesh, K, K. 2013.*Wireless Power Transmission*. Seminar Presented by Rakesh K.K.4NM07EC080, Department of Electronics and Communication Engineering NMAM Institute of Technology Nite, Paneer, Deralakatte, Karnataka 574160, India.
- [4] Prasanth, Venugopal. 2012. *Wireless Power Transfer for E-Mobility*. Master thesis, DELFT University of Technology Faculty of Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science, department Electrical Sustainable Energy. Landbergstraat, Netherlands.
- [5] Young, Hugh D dan Roger Freedman.2001. *Fisika Universitas Edisi X jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- [6] Marconi,Guglielmo. 1943. *Marconi Wireless Tel. Co. v. United States*, 320 U.S. 1 patent No. 763,77.
- [7] *The Electrician London*. September 1902. Pp. 814-815.
- [8] S. Ahson and M. Ilyas. 2008. *RFID handbook:Applications,Technology, Security, and Privacy*. Boca Raton: CRC Press.
- [9] Brown., W. C. *The History of Power Transmission by Radio Waves Microwave Theory and Techniques*, IEEE Transactions on, 1984, Vol: 32, No: 9, pp: 1230- 1242.
- [10]Yagi,Hidetsugu.1993.*Scanning the Past: A History of Electrical Engineering from the Past, IEEE. Reprinted with permission from the IEEE publication* Vol. 81, No. 6.
- [11]Fleming, J. A.1906. *The principles of electric wave telegraphy*. Longmans, Green, London. Page 601.
- [12]Matias, R.,Cunha, B.,Martins,R.2013. *Modeling inductive coupling for Wireless Power Transfer to integrated circuits*. Wireless Power Transfer (WPT), 2013 IEEE at Perugia, pp.198 - 201