



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISA DAN RANCANG BANGUN RANGKAIAN  
PENERIMA PADA SISTEM TRANSFER DAYA LISTRIK  
TANPA KABEL**

**SKRIPSI**

**MICHAEL OCTORA**

**06 06 07 413 6**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPOK**

**JULI 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISA DAN RANCANG BANGUN RANGKAIAN  
PENERIMA PADA SISTEM TRANSFER DAYA LISTRIK  
TANPA KABEL**

**SKRIPSI**

**MICHAEL OCTORA**

**06 06 07 413 6**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPOK**

**JULI 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Michael Octora**

**NPM : 0606074136**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 2 Juli 2010**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Michael Octora

NPM : 0606074136

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi :

### **ANALISA DAN RANCANG BANGUN RANGKAIAN PENERIMA PADA SISTEM TRANSFER DAYA LISTRIK TANPA KABEL**

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. -Ing Eko Adhi Setiawan ( )

Penguji : Dr. Ir. Uno Bintang S, DEA, I.P.M ( )

Penguji : Aji Nur Widiyanto, ST, MT ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 2 Juli 2010

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr.-Ing Eko Adhi Setiawan, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Pihak Laboratorium Teknik Elektro Universitas Indonesia yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
- (3) Alm. Papa, mama, dan semua keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan baik material dan moral; dan
- (4) Sahabat-sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 2 Juli 2010

Michael Octora

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

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Michael Octora  
NPM : 0606074136  
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 :

**ANALISA DAN RANCANG BANGUN RANGKAIAN PENERIMA PADA  
SISTEM TRANSFER DAYA LISTRIK TANPA KABEL**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Tanggal : 2 Juli 2010

Yang menyatakan,

Michael Octora

## ABSTRAK

Nama : Michael Octora

Program Studi : Teknik Elektro

Judul :

### ANALISA DAN RANCANG BANGUN RANGKAIAN PENERIMA PADA SISTEM TRANSFER DAYA LISTRIK TANPA KABEL

Skripsi ini membahas mengenai rancang bangun rangkaian penerima pada sistem pengiriman daya listrik tanpa kabel (*wireless energy transfer*) berdasarkan prinsip induksi resonansi magnetik. Pengiriman daya listrik tanpa kabel adalah suatu sistem yang memiliki proses dimana energi listrik dapat ditransmisikan dari suatu sumber listrik menuju ke beban listrik tanpa melalui suatu kabel. Transmisi daya listrik tanpa kabel ini akan sangat berguna apabila dibutuhkan suatu energi listrik, akan tetapi tidak ada kabel di sekitar tempat tersebut. Desain rangkaian penerima menjadi peranan penting di dalam suatu sistem pengiriman daya listrik tanpa kabel karena akan meningkatkan kinerja dari suatu sistem tersebut.

Kata Kunci : Induksi, resonansi, *wireless energy transfer*, *receiver*

## ABSTRACT

Name : Michael Octora  
Study Program : Electrical Engineering  
Tittle :

### ANALYSIS AND DESIGN OF A RECEIVER CIRCUIT FOR WIRELESS POWER TRANSFER SYSTEM

The focus of this study is to design a receiver in wireless power transfer device based on magnetic resonance. Wireless power transfer or wireless power transmission is the process that takes place in any system where electrical energy is transmitted from a power source to an electrical load without interconnecting wires. Wireless transmission is useful in cases where instantaneous or continuous power transfer is needed but interconnecting wires are inconvenient, hazardous, or impossible. Receiver circuit design becomes an important role in a wireless power transfer system because it will improve the performance of a system.

Keywords : Induction, resonance, wireless energy transfer, receiver

## DAFTAR SIMBOL

$F, f$	= Frekuensi
$\theta$	= Sudut Putar
$\omega$	= Kecepatan Angular
$N$	= Jumlah Lilitan
$\varepsilon, E$	= GGL Induksi
$D, d$	= Jarak
$L$	= Induktansi
$C$	= Kapasitansi
$i, I$	= Arus
$V, U$	= Tegangan
$R$	= Tahanan
$B$	= Medan Magnet
$Z$	= Impedansi
$\pi$	= notasi phi
$\Phi$	= fluks

## DAFTAR ISI

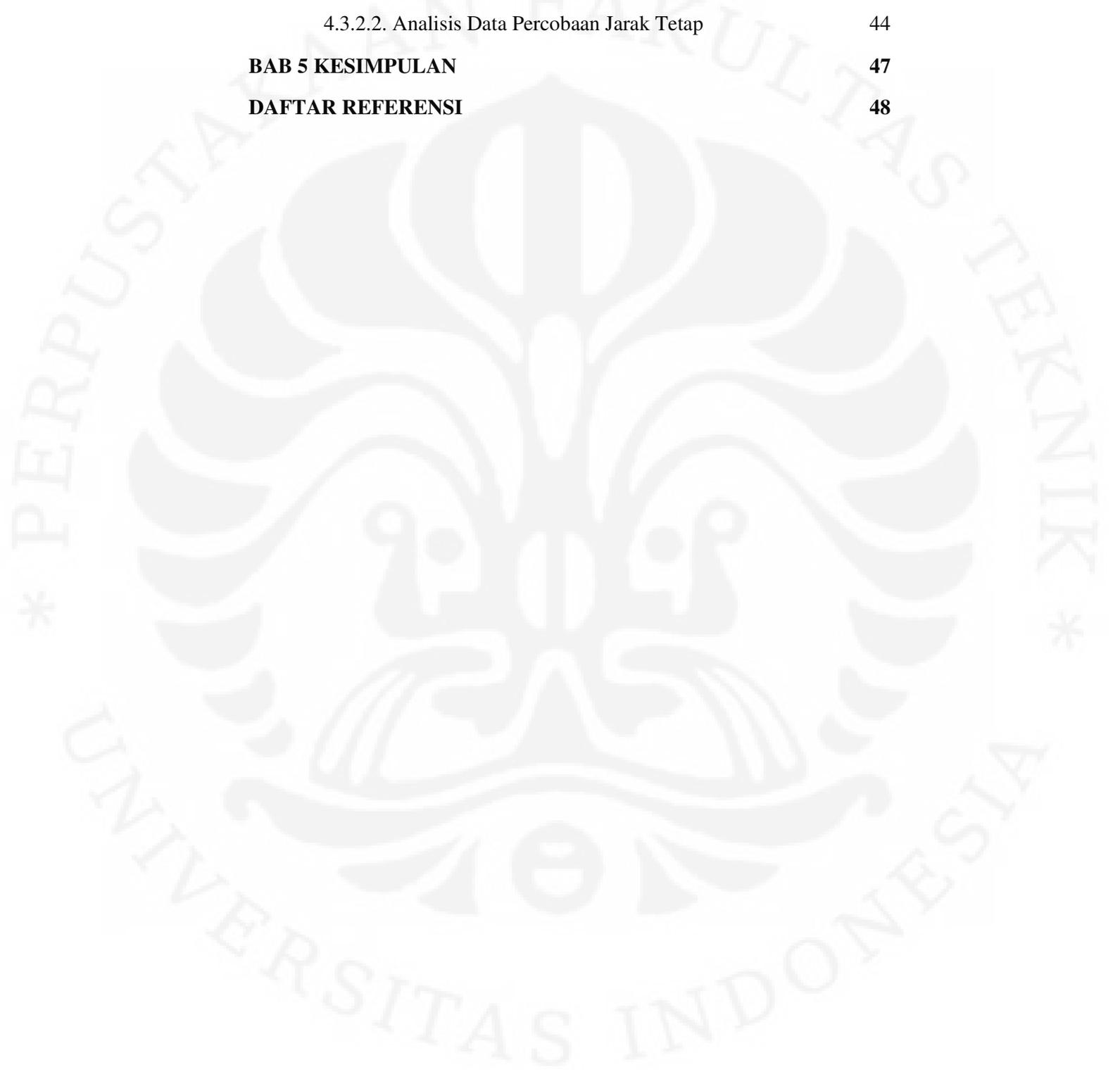
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR SIMBOL	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penulisan	4
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Metodologi Penulisan	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
<b>BAB 2 TEORI DASAR</b>	<b>6</b>
2.1. Definisi Pengiriman Daya Listrik Tanpa Kabel	6
2.2. Prinsip Induksi Elektromagnetik	9
2.2.1. Penyebab Terjadinya GGL Induksi	9
2.2.2. Faktor Besarnya GGL	11
2.2.3. Hukum Lenz	12
2.2.4. Induktansi Diri	13
2.2.5. Induktansi Bersama	14

2.3. Prinsip Pengiriman Energi Melalui Induksi Resonansi Magnet	15
2.3.1. Resonansi	15
2.3.2. Resonansi Elektromagnetik	16
2.4. Prinsip Resonansi Bersama	18
2.5. Rangkaian LC	19
2.5.1. Prinsip Kerja Rangkaian LC	19
2.5.2. Osilasi Rangkaian LC	20
2.6. Struktur Pengiriman Daya Listrik Tanpa Kabel	22
<b>BAB 3 RANCANG BANGUN RANGKAIAN PENERIMA</b>	<b>24</b>
3.1. Umum	24
3.2. Perancangan Sistem Pengiriman Daya Listrik Tanpa Kabel	25
3.2.1. Rangkaian Sumber Arus Searah	26
3.2.2. Rangkaian Pemancar	27
3.2.3. Rangkaian Penerima	27
3.3. Prosedur Percobaan	29
3.3.1. Percobaan Tegangan Keluaran Tetap	30
3.3.2. Percobaan Jarak Tetap	30
<b>BAB 4 ANALISIS HASIL PERCOBAAN</b>	<b>33</b>
4.1. Data Percobaan	33
4.1.1. Data Percobaan Tegangan Keluaran Tetap	33
4.1.2. Data Percobaan Jarak Tetap	33
4.2. Pengolahan Data	35
4.2.1. Pengolahan Data Tegangan Keluaran Tetap	35
4.2.2. Pengolahan Data Jarak Tetap	37
4.3. Analisis Data Percobaan	39
4.3.1. Analisis Data Frekuensi	39
4.3.1.1. Analisis Data Frekuensi Tegangan Keluaran Tetap	39
4.3.1.2. Analisis Data Frekuensi Jarak Tetap	40

4.3.2. Analisis Data Jarak dan Tegangan Keluaran	43
4.3.2.1. Analisis Data Percobaan Tegangan Keluaran Tetap	43
4.3.2.2. Analisis Data Percobaan Jarak Tetap	44

<b>BAB 5 KESIMPULAN</b>	<b>47</b>
-------------------------	-----------

<b>DAFTAR REFERENSI</b>	<b>48</b>
-------------------------	-----------



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Perangkat Elektronik	1
Gambar 1.2. Menara Wardenclyffe	2
Gambar 1.3. Konsep Pengiriman Daya Listrik Tanpa Kabel	3
Gambar 2.1. Trafo	6
Gambar 2.2. Sikat Gigi Elektrik	7
Gambar 2.3. Konsep “ <i>solar space power</i> ”	8
Gambar 2.4. Percobaan Faraday	11
Gambar 2.5. Fluks Magnet	11
Gambar 2.6. Arah GGL Induksi	12
Gambar 2.7. Kaidah Tangan Kanan	13
Gambar 2.8. Induktansi Diri	14
Gambar 2.9. Induktansi Bersama	15
Gambar 2.10. Garpu Tala	16
Gambar 2.11. Gelombang Elektromagnetik	17
Gambar 2.12. Resonansi Bersama	18
Gambar 2.13. Rangkaian LC	19
Gambar 2.14. Prinsip Kerja Rangkaian LC	19
Gambar 2.15. Osilasi Rangkaian LC	20
Gambar 2.16. Skematik Analisa Noda Rangkaian LC	22
Gambar 2.17. Skema Diagram Pengiriman Daya Listrik Tanpa Kabel	22
Gambar 3.1. Diagram <i>WPT</i>	24
Gambar 3.2. Rangkaian Pemancar Awal	25
Gambar 3.3. Regulator Sumber Arus Searah	26

Gambar 3.4. Rangkaian Sumber Arus Searah	26
Gambar 3.5. Sistem <i>WPT</i>	27
Gambar 3.6. Rangkaian Penerima	28
Gambar 3.7. Diagram Pengukuran Percobaan	29
Gambar 3.8. Prosedur Pengambilan Data	29
Gambar 3.9. Diagram Percobaan Tegangan Keluaran Tetap	30
Gambar 3.10. Pengambilan Data Percobaan Tegangan Keluaran Tetap	30
Gambar 3.11. Diagram Pengukuran Jarak Tetap	31
Gambar 3.12. Contoh Pengambilan Data Percobaan Jarak Tetap (10cm)	31
Gambar 3.13. Contoh Pengambilan Data Percobaan Jarak Tetap (20cm)	32
Gambar 3.14. Contoh Pengambilan Data Percobaan Jarak Tetap (30cm)	32
Gambar 4.1. Grafik Hubungan Kapasitor dan $\Delta f_r$ Pada Percobaan Tegangan Keluaran Tetap	39
Gambar 4.2. Grafik Hubungan Kapasitor dan $\Delta f_r$ Pada Percobaan Jarak Tetap 10cm	40
Gambar 4.3. Grafik Hubungan Kapasitor dan $\Delta f_r$ Pada Percobaan Jarak Tetap 20cm	41
Gambar 4.4. Grafik Hubungan Kapasitor dan $\Delta f_r$ Pada Percobaan Jarak Tetap 30cm	41
Gambar 4.5. Grafik Hubungan Kapasitor dengan Jarak	43
Gambar 4.6. Grafik Hubungan Kapasitor dengan Tegangan Keluaran Pada Jarak 10 cm	44
Gambar 4.7. Grafik Hubungan Kapasitor dengan Tegangan Keluaran Pada Jarak 20 cm	44
Gambar 4.8. Grafik Hubungan Kapasitor dengan Tegangan Keluaran Pada Jarak 30 cm	45

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Data Percobaan Tegangan Keluaran Tetap	33
Tabel 4.2. Data Percobaan Jarak Tetap (10cm)	34
Tabel 4.3. Data Percobaan Jarak Tetap (20cm)	34
Tabel 4.4. Data Percobaan Jarak Tetap (30cm)	35
Tabel 4.5. Pengolahan Data Percobaan Tegangan Keluaran Tetap	35
Tabel 4.6. Pengolahan Data Percobaan Jarak Tetap 10cm	37
Tabel 4.7. Pengolahan Data Percobaan Jarak Tetap 20cm	38
Tabel 4.8. Pengolahan Data Percobaan Jarak Tetap 30cm	38

## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1.Latar Belakang

Kemajuan teknologi tanpa kabel atau *wireless* dewasa ini semakin meningkat pesat. Peningkatan ini dilandasi dengan berbagai hal, seperti semakin meningkatnya teknologi pada perangkat elektronik, kebutuhan telekomunikasi, sampai pada gaya hidup dari umat manusia. Kebutuhan akan pengiriman daya listrik tanpa kabel ini berawal dari ketergantungan umat manusia terhadap pemakaian kabel untuk mengisi ulang baterai yang dipakai pada perangkat elektronik.

Dalam kehidupan sehari-hari sekarang ini, umat manusia tidak bisa lepas dari kebutuhan mereka akan peralatan listrik tersebut, dari telepon genggam untuk berkomunikasi, laptop untuk mengerjakan tugas dan terhubung dengan internet, sampai kepada pemutar mp3 untuk mendengarkan lagu, yang semua peralatan elektronik tersebut menggunakan baterai yang dapat diisi ulang sebagai sumber utamanya. Oleh karena ketergantungan manusia terhadap baterai, sering terdapat adaptor atau *charger* baterai yang terus menerus terpasang pada sumber listrik utama untuk memudahkan dalam proses pengisian ulang baterai.



Gambar 1.1. Perangkat Elektronik [1]

Jika dapat mengirimkan daya listrik tanpa melewati suatu kabel, tentunya hal ini akan sangat membantu di dalam pengisian baterai dan juga

akan menjadi lebih efektif serta efisien jika dapat mengisi ulang lebih dari satu baterai dalam suatu waktu bersamaan tanpa harus menggunakan kabel lagi yang terpasang ke sumber listrik. Dengan adanya alat yang dapat mengirimkan daya listrik tanpa kabel ini, nantinya juga diharapkan dapat menggantikan peran baterai selama ini, selama masih berada di dalam jangkauan atau area alat tersebut.

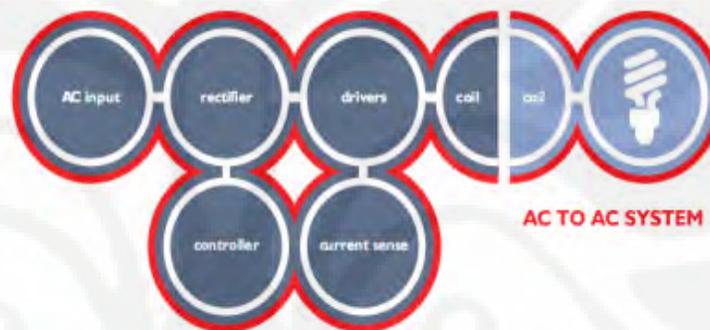
Para ilmuwan dan peneliti seperti Nikola Tesla dan Heinrich Hertz sebagai pelopor dalam dunia transmisi tanpa kabel sudah mengetahui, bahwa sangat mungkin untuk dapat mengirimkan daya listrik tanpa melalui kabel. Nikola Tesla mengeksplorasi dan terus mempelajari suatu sistem pengiriman daya listrik tanpa kabel melalui penemuan-penemuan tentang gelombang radio, gelombang mikro (*microwaves*), dan kumparan Tesla. Pada akhirnya, Nikola Tesla membuat menara Wardenclyffe (Gambar 1.2) dengan tujuan sebagai suatu pembangkit yang dapat mentransmisikan daya listrik serta informasi ke seluruh dunia. Akan tetapi, karena sponsornya secara tiba-tiba menghentikan aliran dana, dan Nikola Tesla tidak mendapatkan sponsor yang lain, maka menara Wardenclyffe ini akhirnya dihancurkan sebelum dapat beroperasi.[9]



Gambar 1.2. Menara Wardenclyffe [2]

Sebagai suatu contoh lain, prinsip induksi pada trafo, dapat mengirimkan daya listrik dari kumparan satu tanpa bersentuhan dengan kumparan yang lain, meskipun jaraknya masih sangat dekat. Selain trafo, prinsip radiasi elektromagnetik pada gelombang radio juga dapat

mengirimkan energi listrik tanpa kabel, akan tetapi karena efisiensi yang kecil, gelombang radio ini hanya berperan penting untuk dunia telekomunikasi dalam mengirimkan informasi dan tidak dapat digunakan untuk mengirimkan daya listrik dalam jumlah besar (menggantikan peran kabel). Ilmuan juga telah mencoba untuk memusatkan gelombang elektromagnetik seperti laser (tidak menyebar seperti halnya gelombang elektromagnetik pada gelombang radio), akan tetapi hal ini juga belum praktis dan bahkan dapat merusak dan membahayakan umat manusia. Akhirnya ditemukan suatu cara untuk dapat mengirimkan energi listrik tanpa kabel, yaitu dengan menggunakan prinsip resonansi magnet.



Gambar 1.3. Konsep Pengiriman Daya Listrik Tanpa Kabel [3]

Rancang bangun rangkaian penerima merupakan salah satu bagian yang penting dalam suatu sistem pengiriman daya listrik tanpa kabel. Dengan merancang suatu rangkaian penerima yang baik, maka akan diperoleh jarak yang cukup jauh (jika dibandingkan dengan trafo) dalam mentransmisikan daya listrik, dan tentunya besar energi yang dikirimkan juga dapat meningkat.

## 1.2. Perumusan Masalah

Sebelumnya pada proses rancang bangun suatu sistem pengiriman daya listrik tanpa kabel telah berhasil dikirimkan daya listrik dengan menggunakan prinsip resonansi magnetik. Akan tetapi, pada sisi rangkaian penerima tidak dirancang dengan baik, sehingga diperoleh jarak yang kurang jauh, dan dengan bentuk yang sangat sederhana. Untuk itu, maka

diperlukan suatu rancang bangun yang lebih baik dengan menggunakan rangkaian LC di sisi rangkaian penerima untuk mendapatkan kualitas yang lebih baik dalam sistem pengiriman daya listrik tanpa melalui kabel ini.

### **1.3.Tujuan Penulisan**

Skripsi ini membahas mengenai rancang bangun rangkaian penerima pada sistem pengiriman daya listrik tanpa kabel (*wireless power transfer*) berdasarkan prinsip induksi resonansi magnetik. Dengan perancangan yang baik pada sisi rangkaian penerima, akan didapatkan kinerja sistem yang lebih baik.

### **1.4.Batasan Masalah**

Pada penulisan skripsi ini, hanya dibatasi pada pembuatan rangkaian penerima pada sistem pengiriman daya listrik tanpa kabel (*wireless power transfer*) berdasarkan prinsip induksi resonansi magnetik, agar didapatkan tegangan keluaran yang lebih baik dan dengan jarak yang lebih jauh.

### **1.5.Metodologi Penulisan**

Metode penulisan yang digunakan adalah studi kepustakaan, pembuatan alat dan pengamatan data – data hasil percobaan pengukuran yang dilakukan di Laboratorium Pengukuran Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia dan Laboratorium Konversi Energi Listrik Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia.

### **1.6.Sistematika Penulisan**

Pada bab pertama merupakan pengantar untuk bab – bab selanjutnya. Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang, tujuan penulisan, batasan masalah, metodologi penulisan dan sistematika penulisan.

Pada bab kedua akan dijelaskan secara umum mengenai teori dasar yang digunakan dalam skripsi ini, yaitu definisi, prinsip induksi

elektromagnetik, prinsip pengiriman energi melalui induksi resonansi magnet, model pengiriman, serta struktur pengiriman energi.

Pada bab ketiga akan dijelaskan mengenai proses pembuatan rangkaian penerima pada alat transmisi tanpa kabel dan percobaan yang dilakukan pada skripsi ini, yaitu percobaan pada alat pengirim daya listrik tanpa kabel dengan cara memvariasikan kapasitor pada rangkaian penerima (*receiver*).

Pada bab keempat akan dijelaskan mengenai analisis dari hasil percobaan yang dilakukan pada bab ketiga.

Pada bab kelima berisi kesimpulan dari pembahasan yang dilakukan pada bab – bab sebelumnya.

## BAB 2 TEORI DASAR

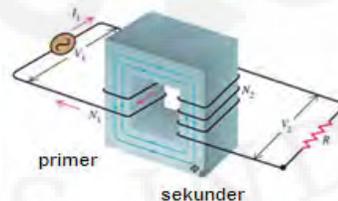
### 2.1. Definisi Pengiriman Daya Listrik Tanpa Kabel [1]

Pengiriman daya listrik tanpa kabel adalah suatu sistem yang memiliki proses dimana energi listrik dapat ditransmisikan dari suatu sumber listrik menuju ke beban listrik tanpa melalui suatu kabel. Transmisi daya listrik tanpa kabel ini berguna jika kita membutuhkan suatu energi listrik, akan tetapi tidak ada kabel di sekitar tempat kita berada.

Alat pengirim daya listrik tanpa kabel memiliki banyak kegunaan dalam kehidupan sehari-hari, yang terbagi dalam dua kategori, yaitu :

- Memberikan sumber listrik tanpa kabel secara langsung, yaitu ketika peralatan elektronik tanpa baterai membutuhkan daya listrik, akan tetapi tidak ada kabel disekitarnya, maka alat pengirim daya listrik tanpa kabel akan berfungsi selama masih berada dalam area jangkauan. (contoh : televisi, lampu.)
- Mengisi ulang secara otomatis tanpa kabel, yaitu ketika suatu alat elektronik yang menggunakan baterai yang dapat diisi ulang membutuhkan isi ulang baterai, maka alat ini juga dapat digunakan. (contoh : telepon genggam, pemutar mp3, laptop.)

Alat pengirim daya listrik tanpa kabel ini sangat berbeda dengan prinsip induksi elektromagnetik konvensional, seperti yang digunakan pada trafo, dimana kumparan primer dapat mentransmisikan daya ke kumparan sekunder dalam jarak yang sangat dekat [1].



Gambar 2.1. Trafo [1]

Dalam suatu trafo (Gambar 2.1), arus listrik mengalir ke kumparan primer dan menginduksi kumparan sekunder, kedua kumparan ini tidak bersentuhan, akan tetapi berada dalam jarak yang sangat dekat. Tingkat efisiensi trafo akan sangat berkurang jika kedua kumparan ini dijauhkan. Selain trafo, sikat gigi elektrik (Gambar 2.2) juga menggunakan prinsip induksi yang sama dengan trafo, sikat gigi elektrik tersebut akan mengisi ulang baterai jika ditempatkan pada tempatnya.



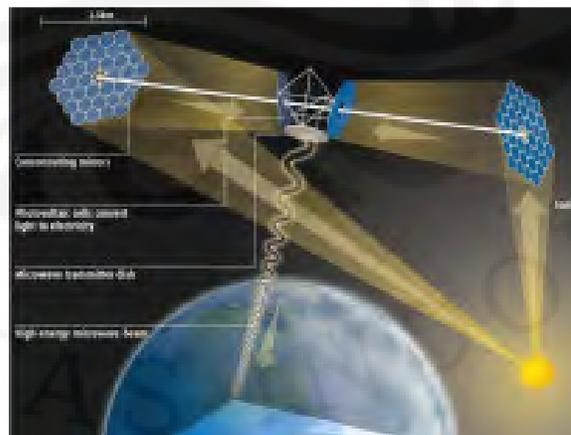
Gambar 2.2. Sikat Gigi Elektrik [1]

Tingkat efisiensi dari suatu induksi elektromagnetik dapat ditingkatkan dengan menggunakan rangkaian resonator. Cara ini biasa disebut juga induksi resonansi, yang banyak digunakan alat-alat pada bidang kesehatan. Dengan menggunakan prinsip ini, telah berhasil dibangun suatu alat yang dapat mentransmisikan daya listrik tanpa kabel, dengan jarak yang jauh berbeda dengan induksi tradisional.

Teknologi dari pengiriman daya listrik tanpa kabel yang dimaksud di dalam skripsi ini merupakan teknologi yang tidak beradiasi dan mengacu pada konsep medan dekat (*near-field*). Banyak teknik lain dalam bidang pengiriman energi listrik tanpa kabel yang berbasiskan kepada teknik radiasi, baik itu untuk keperluan informasi seperti gelombang radio, sinar laser (*narrow beam*) dan gelombang cahaya. Radiasi udara dari frekuensi pada gelombang radio banyak digunakan untuk mengirimkan informasi tanpa kabel karena informasi dapat ditransmisikan ke segala arah untuk dipakai oleh beberapa pengguna.

Daya yang diterima pada setiap radio atau rangkaian penerima tanpa kabel sangatlah kecil, dan harus diperkuat lagi di dalam rangkaian penerima tersebut dengan menggunakan sumber listrik dari luar suatu alat tersebut. Oleh karena mayoritas dari daya radiasi terbang dengan percuma ke dalam udara bebas, transmisi radio ini sangat tidak efisien jika berfungsi untuk mengirimkan daya listrik dengan jumlah besar. Untuk menambah jumlah energi yang dapat ditangkap oleh rangkaian penerima, maka pada sisi rangkaian pemancar dapat diberikan daya yang lebih tinggi pula, akan tetapi hal ini tidak aman dan bahkan dapat mengganggu alat lain yang juga menggunakan frekuensi radio.

Radiasi langsung, menggunakan antena yang diarahkan secara langsung dari sumber ke penerima tanpa ada halangan apapun untuk menembakkan energi menggunakan frekuensi radio. Dengan cara ini, energi yang dapat diterima oleh rangkaian penerima menjadi meningkat, akan tetapi cara ini juga berdampak langsung terhadap organisme dan dapat berbahaya. Oleh karena alasan inilah, maka cara ini juga tidak dapat digunakan dalam pengiriman energi listrik dengan daya besar seperti untuk industri, ataupun konsumsi peralatan elektronik sehari-hari. Akan tetapi dalam kenyataan, hal ini masih dipelajari dan dieksplorasi terus untuk dapat menembakkan energi dari luar angkasa ke bumi menurut konsep “*solar space power*” (Gambar 2.3) dan untuk kebutuhan pertahanan sebagai senjata mematikan yang dapat menembakkan energi dari angkasa ke medan peperangan.



Gambar 2.3. Konsep “*solar space power*” [3]

Seperti yang dijelaskan diatas, konsep pengiriman daya listrik yang dipakai dalam skripsi ini sangat berbeda dengan gelombang radio maupun radiasi secara langsung, karena dalam proses pengiriman daya listriknya tidak memerlukan syarat yang mengharuskan tidak ada penghalang diantara rangkaian pemancar dan rangkaian penerima.

## **2.2. Prinsip Induksi Elektromagnetik [4];[5]**

Kemagnetan dan kelistrikan merupakan dua gejala alam yang prosesnya dapat dibolak-balik. Ketika H.C. Oersted membuktikan bahwa di sekitar kawat berarus listrik terdapat medan magnet (artinya listrik menimbulkan magnet), para ilmuwan mulai berpikir keterkaitan antara kelistrikan dan kemagnetan. Tahun 1821 Michael Faraday membuktikan bahwa perubahan medan magnet dapat menimbulkan arus listrik (artinya magnet menimbulkan listrik) melalui eksperimen yang sangat sederhana [5]. Sebuah magnet yang digerakkan masuk dan keluar pada kumparan dapat menghasilkan arus listrik pada kumparan itu. Galvanometer merupakan alat yang dapat digunakan untuk mengetahui ada tidaknya arus listrik yang mengalir. Ketika sebuah magnet yang digerakkan masuk dan keluar pada kumparan, jarum galvanometer menyimpang ke kanan dan ke kiri. Bergeraknya jarum galvanometer menunjukkan bahwa magnet yang digerakkan keluar dan masuk pada kumparan menimbulkan arus listrik. Arus listrik bisa terjadi jika pada ujung-ujung kumparan terdapat GGL (gaya gerak listrik). GGL yang terjadi di ujung-ujung kumparan dinamakan GGL induksi. Arus listrik hanya timbul pada saat magnet bergerak. Jika magnet diam di dalam kumparan, di ujung kumparan tidak terjadi arus listrik.

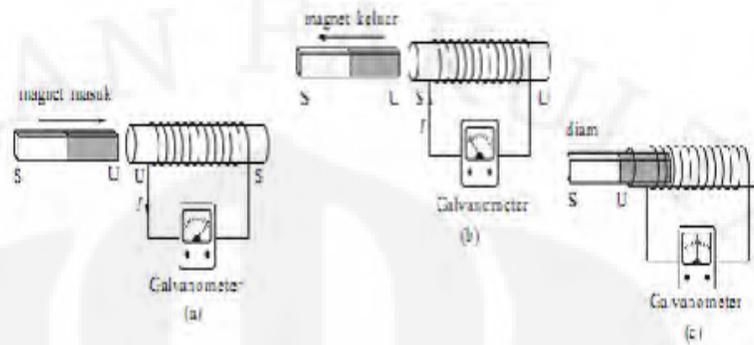
### **2.2.1. Penyebab Terjadinya GGL Induksi [4];[5]**

Ketika kutub utara magnet batang digerakkan masuk ke dalam kumparan, jumlah garis gaya-gaya magnet yang terdapat di dalam kumparan bertambah banyak. Bertambahnya jumlah garis-

garis gaya ini menimbulkan GGL induksi pada ujung-ujung kumparan. GGL induksi yang ditimbulkan menyebabkan arus listrik mengalir menggerakkan jarum galvanometer. Arah arus induksi dapat ditentukan dengan cara memerhatikan arah medan magnet yang ditimbulkannya. Pada saat magnet masuk, garis gaya dalam kumparan bertambah. Akibatnya medan magnet hasil arus induksi bersifat mengurangi garis gaya itu. Dengan demikian, ujung kumparan itu merupakan kutub utara sehingga arah arus induksi seperti yang ditunjukkan Gambar 2.4.a.

Ketika kutub utara magnet batang digerakkan keluar dari dalam kumparan, jumlah garis-garis gaya magnet yang terdapat di dalam kumparan berkurang. Berkurangnya jumlah garis-garis gaya ini juga menimbulkan GGL induksi pada ujung-ujung kumparan. GGL induksi yang ditimbulkan menyebabkan arus listrik mengalir dan menggerakkan jarum galvanometer. Sama halnya ketika magnet batang masuk ke kumparan. pada saat magnet keluar garis gaya dalam kumparan berkurang. Akibatnya medan magnet hasil arus induksi bersifat menambah garis gaya itu. Dengan demikian, ujung kumparan itu merupakan kutub selatan, sehingga arah arus induksi seperti yang ditunjukkan Gambar 2.4.b.

Ketika kutub utara magnet batang diam di dalam kumparan, jumlah garis-garis gaya magnet di dalam kumparan tidak terjadi perubahan (tetap). Karena jumlah garis-garis gaya tetap, maka pada ujung-ujung kumparan tidak terjadi GGL induksi. Akibatnya, tidak terjadi arus listrik dan jarum galvanometer tidak bergerak. Jadi, GGL induksi dapat terjadi pada kedua ujung kumparan jika di dalam kumparan terjadi perubahan jumlah garis-garis gaya magnet (fluks magnetik). GGL yang timbul akibat adanya perubahan jumlah garis-garis gaya magnet dalam kumparan disebut GGL induksi. Arus listrik yang ditimbulkan GGL induksi disebut arus induksi. Peristiwa timbulnya GGL induksi dan arus induksi akibat adanya perubahan jumlah garis-garis gaya magnet disebut induksi elektromagnetik.



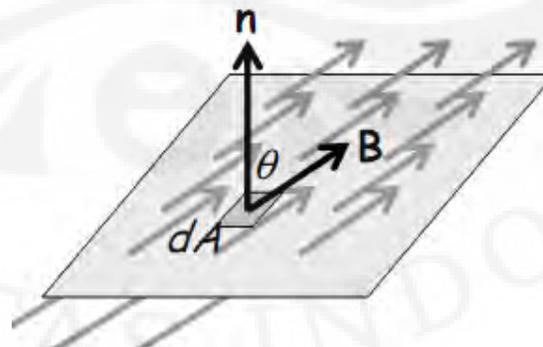
Gambar 2.4. Percobaan Faraday [5]

### 2.2.2. Faktor Besarnya GGL [4];[5]

Sebenarnya besar kecil GGL induksi dapat dilihat pada besar kecilnya penyimpangan sudut jarum galvanometer. Jika sudut penyimpangan jarum galvanometer besar, GGL induksi dan arus induksi yang dihasilkan besar. Ada tiga faktor yang memengaruhi GGL induksi, yaitu :

- kecepatan gerakan magnet atau kecepatan perubahan jumlah garis-garis gaya magnet (fluks magnetik)
- jumlah lilitan
- medan magnet

Sebagaimana fluks listrik, fluks magnet juga dapat diilustrasikan sebagai banyaknya garis medan yang menembus suatu permukaan.



Gambar 2.5. Fluks Magnet [5]

Fluks listrik yang dihasilkan oleh medan B pada permukaan yang luasnya dA adalah

$$d\phi = B \cdot dA \quad (2.1)$$

$$\phi = \int B \cdot dA \quad (2.2)$$

$$\phi = \int B \cdot n dA \quad (2.3)$$

$$\phi = \int B \cos\theta dA \quad (2.4)$$

Eksperimen yang dilakukan oleh Faraday menunjukkan bahwa perubahan fluks magnet pada suatu permukaan yang dibatasi oleh suatu lintasan tertutup akan mengakibatkan adanya GGL. Faraday menyimpulkan besarnya GGL yang timbul adalah

$$\varepsilon = \oint E \cdot ds \quad (2.5)$$

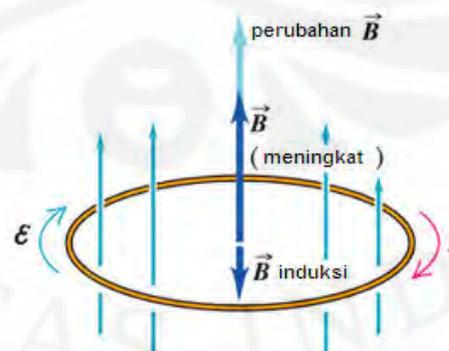
$$\varepsilon = - \frac{d\phi_{mag}}{dt} \quad (2.6)$$

Masukkan persamaan (2.2) ke persamaan (2.6), maka

$$\varepsilon = - \frac{d(\int B \cdot dA)}{dt} \quad (2.7)$$

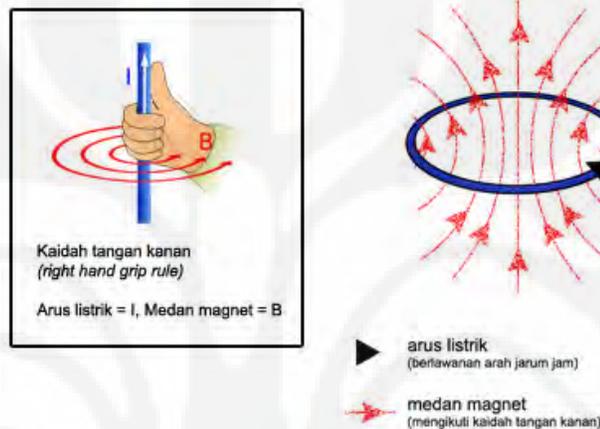
### 2.2.3. Hukum Lenz [5]

Tanda negatif pada hukum Faraday berkaitan dengan arah ggl induksi yang ditimbulkan. Hukum Lenz menyatakan bahwa arus induksi yang timbul arahnya sedemikian rupa sehingga menimbulkan medan magnet induksi yang melawan arah perubahan medan magnet.



Gambar 2.6. Arah GGL Induksi [5]

Dari gambar 2.6 diatas dapat terlihat bahwa jika medan magnet bertambah (ke atas), maka akan timbul medan magnet induksi yang berlawanan arah dengan medan magnet utama (ke bawah), medan induksi ini akan menghasilkan ggl induksi pada kumparan tersebut dengan arah yang disesuaikan dengan aturan tangan kanan seperti gambar 2.7 di bawah ini.[4]



Gambar 2.7. Kaidah Tangan Kanan [5]

#### 2.2.4. Induktansi Diri

Dari penjelasan tentang hukum Biot-Savart dan hukum Ampere, telah ditunjukkan bahwa adanya arus listrik yang mengalir pada suatu penghantar menyebabkan adanya medan magnet disekitar penghantar tersebut.

Besarnya medan magnet yang ditimbulkan sebanding dengan besarnya arus listrik yang mengalir, sebagai contoh

- B pada kawat panjang :

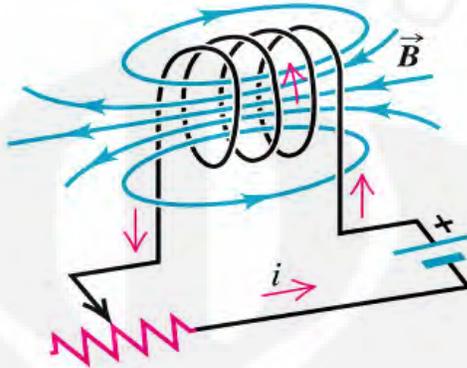
$$B = \left( \frac{\mu_0}{2\pi a} \right) I \quad (2.8)$$

- B pada loop lingkaran :

$$B = \left( \frac{\mu_0 R^2}{2(Z^2 + R^2)^{3/2}} \right) I \quad (2.9)$$

- B pada solenoida :

$$B = (\mu_0 n)I \quad (2.10)$$



Gambar 2.8. Induktansi Diri [5]

Dari persamaan (2.8) sampai dengan (2.10) terlihat bahwa B sebanding dengan I, dan karena dari persamaan (2.2) diperoleh bahwa B sebanding dengan  $\Phi$ , maka fluks magnet juga sebanding dengan nilai I. Oleh karena itu, maka dapat diperoleh tetapan kesebandingan, yaitu

$$\Phi = LI \quad (2.11)$$

Dimana L adalah tetapan kesebandingan antara  $\Phi$  dan I yang dinamakan induktansi (diri) dari suatu sistem. Karena pada hukum Faraday, perubahan fluks listrik dapat menimbulkan GGL, maka persamaan (2.7) dapat dinyatakan dengan

$$\varepsilon = -L \frac{dI}{dt} \quad (2.12)$$

#### 2.2.5. Induktansi Bersama [5]

Pada gambar 2.9 arus  $i_1$  pada kumparan 1, akan menghasilkan medan magnet yang fluks magnetnya akan mempengaruhi kumparan 2. Jika  $i_1$  berubah, maka medan magnet pada kumparan 1 juga akan berubah, dan hal ini akan menyebabkan terjadinya ggl induksi pada kumparan 2. Ketika timbul ggl induksi pada kumparan 2, maka arus akan mengalir di kumparan 2 dan akan menghasilkan medan magnet pula yang akan

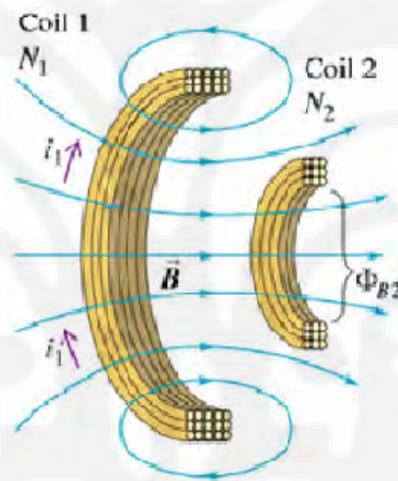
mempengaruhi kumparan 1, hal inilah yang dinamakan induktansi bersama (M), yang menurut hukum Faraday besarnya adalah

$$\varepsilon_2 = -M \frac{di_1}{dt} \quad (2.13)$$

$$\varepsilon_1 = -M \frac{di_2}{dt} \quad (2.14)$$

Dimana besarnya M (*Mutual Inductance*) adalah

$$M = \frac{N_2 \Phi_{B2}}{i_1} = \frac{N_1 \Phi_{B1}}{i_2} \quad (2.15)$$

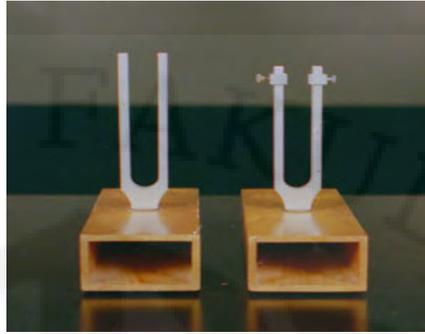


Gambar 2.9. Induktansi Bersama [5]

## 2.3. Prinsip Pengiriman Energi Melalui Induksi Resonansi Magnet [6]

### 2.3.1. Resonansi

Fenomena resonansi sudah secara luas berada di alam ini. Perbedaan jenis resonansi juga berisikan energi yang berbeda pula. Suara dari garpu tala dihasilkan dari suatu resonansi, begitu pula dengan suatu gempa bumi dihasilkan dari suatu resonansi, akan tetapi energi dari gempa bumi jauh lebih besar daripada suara garpu tala.



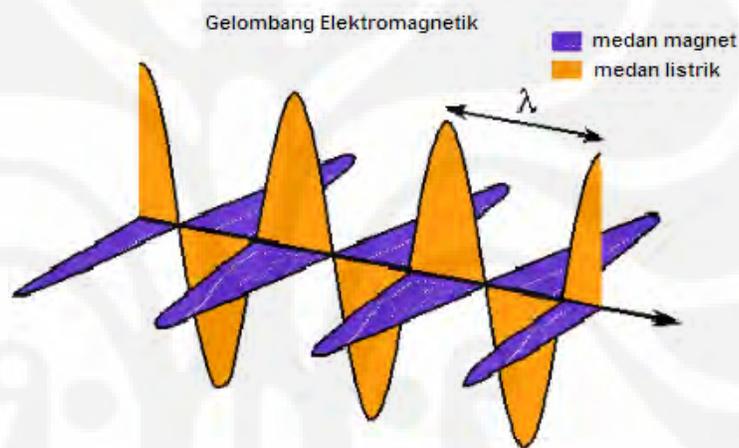
Gambar 2.10. Garpu Tala [7]

Resonansi adalah suatu gejala suatu sistem yang dalam suatu frekuensinya cenderung untuk menyerap lebih banyak energi dari lingkungan. Dengan kata lain, resonansi adalah sebuah fenomena dimana jika suatu objek atau benda bergetar, maka benda lain dengan frekuensi yang sama akan ikut bergetar juga. Resonansi dapat mengirimkan energi. Sebagai sebuah contoh sederhana, jika kita mempunyai 2 buah garpu tala dengan frekuensi yang sama dan jarak yang cukup, maka jika kita memukul garpu tala A sehingga timbul bunyi, maka ketika kita menahan garpu tala A sampai bunyinya berhenti, garpu tala B akan berbunyi juga meskipun tidak kita pukul. Ini merupakan fenomena resonansi akustik. Energi yang membuat garpu tala B ini bergetar dihasilkan dari gelombang bunyi dari garpu tala A, media pengirimannya adalah medan bunyi. Dapat dikatakan bahwa inti dari propagansi getaran ini adalah suatu pengiriman energi. Mirip dengan medan bunyi, ini juga dapat dimungkinkan pada medan elektromagnetik.

### 2.3.2. Resonansi Elektromagnetik [6]

Resonansi elektromagnetik ada secara luas di dalam sistem elektromagnetik. Medan elektromagnetik itu sendiri merupakan bidang energi yang dapat memberikan energi untuk digunakan dalam proses terjadinya aliran listrik. Mengingat bahaya bagi masyarakat dan organisme lain di dalam medan listrik, medan magnet yang aman dan lebih sesuai untuk digunakan sebagai media pengiriman energi dalam perpindahan energi resonansi secara magnetis.

Radiasi gelombang elektromagnetik itu sendiri mengandung energi. Tidak peduli apakah ada penerima atau tidak, energi dari gelombang elektromagnetik itu secara terus menerus dikonsumsi. Jika kita dapat membuat suatu medan magnetik non-radiasi dengan frekuensi resonansi tertentu, saat penghasil resonansi seperti rangkaian osilasi LC, dengan frekuensi resonansi yang sama di dalamnya, maka dapat dihasilkan suatu resonansi elektromagnetik, kumparan induktansi akan terus mengumpulkan energi, tegangan akan naik, dan energi yang diterima dapat disalurkan ke beban setelah dikonversi dengan rangkaian tambahan.



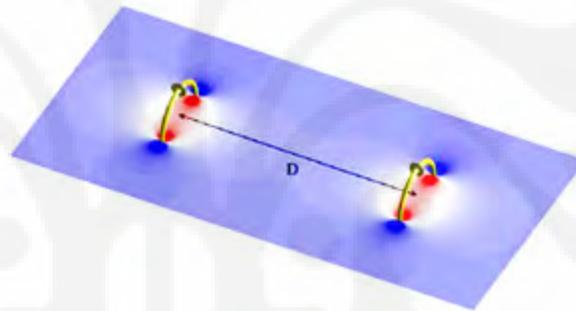
Gambar 2.11. Gelombang Elektromagnetik [8]

Secara umum, sistem elektromagnetik dengan frekuensi resonansi sama, memiliki kelemahan dalam jarak tertentu. Dua sistem dengan frekuensi resonansi yang sama akan menghasilkan resonansi magnetik yang kuat dan membentuk sebuah sistem resonansi magnetik. Jika ada lebih dari dua penghasil resonansi dalam rentang yang masih efektif, mereka juga dapat bergabung dengan sistem resonansi magnetik ini. Satu resonator dapat dihubungkan dengan pasokan listrik terus-menerus untuk berperan sebagai sumber energi dan yang lainnya mengkonsumsi energi, sehingga sistem pengiriman energi ini dapat terwujud. Dengan kata lain, sistem ini dapat mengirimkan energi dari satu tempat ke tempat lain melalui medan magnet yang tidak terlihat (*wireless*), bukan dengan cara seperti biasa yang melalui kabel listrik yang dapat dilihat.

#### 2.4. Prinsip Resonansi Bersama [1]

Prinsip dasar induksi elektromagnetik adalah pada saat arus bolak balik melewati suatu kumparan, disekitar kumparan tersebut akan menghasilkan suatu medan magnet.

Jika pada kondisi ini diletakkan suatu kumparan lain di dekat kumparan tersebut, maka medan magnet dari kumparan yang pertama akan timbul juga di sekitar kumparan yang kedua. Ini merupakan alasan kenapa pengiriman energi tanpa kabel dapat terjadi diantara kedua kumparan tersebut. Sama seperti yang telah diuraikan sebelumnya, resonansi bersama adalah suatu keadaan khusus dari pengiriman energi tanpa kabel. Letak dari kekhususannya adalah semua kumparan yang digunakan untuk beresonansi bersama beroperasi pada kondisi resonansi.



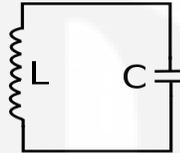
Gambar 2.12. Resonansi Bersama [1]

Resonansi terjadi ketika frekuensi resonansi sendiri dari kumparan-kumparan tersebut bernilai sama dengan frekuensi sumber arus bolak balik, saat rangkaian ekuivalen dari kumparan-kumparan tersebut di frekuensi tinggi memiliki impedansi paling kecil. Pada saat kondisi seperti inilah energi paling banyak dapat dikirimkan melalui jalur resonansi.

Gambar 2.12 menunjukkan terjadinya proses resonansi magnetik bersama, warna kuning menunjukkan kumparan yang memiliki frekuensi resonansi yang sama, warna biru dan merah menunjukkan medan magnet yang disebabkan pada kumparan tersebut, yang keduanya adalah identik satu sama lain, inilah gambaran sederhana dari resonansi bersama.

## 2.5. Rangkaian LC

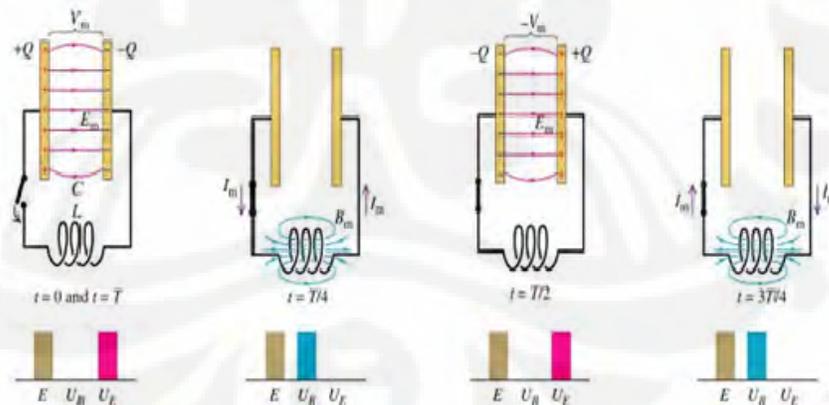
Rangkaian LC (Gambar 2.13) adalah suatu rangkaian resonansi yang terdiri dari induktor (L) dan kapasitor (C). Rangkaian LC biasa digunakan untuk menghasilkan sumber arus bolak balik atau sebagai pembangkit sinyal.



Gambar 2.13. Rangkaian LC

### 2.5.1. Prinsip Kerja Rangkaian LC [5]

Prinsip kerja rangkaian LC agar dapat menghasilkan sinyal bolak balik atau berosilasi adalah dengan menggunakan kapasitor dan induktornya. Kapasitor menyimpan energi di dalam medan listrik antara kedua pelatnya, berdasarkan besarnya tegangan diantara kedua pelat tersebut, sedangkan induktor menyimpan energi di dalam medan magnetnya, berdasarkan besarnya arus yang melalui induktor tersebut. Gambar 2.14 menjelaskan tentang prinsip kerja rangkaian LC.



Gambar 2.14. Prinsip Kerja Rangkaian LC [5]

Pada gambar 2.14 diatas, posisi paling kiri menunjukkan awal,  $t = 0$  atau  $t = T$ , dimana nilai kapasitor maximum, dan tidak ada arus mengalir.

Pada saat saklar mulai ditutup yaitu antara  $t = 0$  sampai  $t = T/4$ , terjadi rangkaian tertutup, kapasitor mulai *discharge*, dan arus mengalir berlawanan arah jarum jam menuju induktor dan terus meningkat.

Pada kondisi  $t = T/4$ , kapasitor bernilai minimum, arus yang mengalir maksimum dan masih berlawanan arah jarum jam.

Dari  $t = T/4$  sampai  $t = T/2$ , arus terus mengalir mengisi kapasitor dengan sisi yang berlawanan, dan arus yang mengalir mulai berkurang.

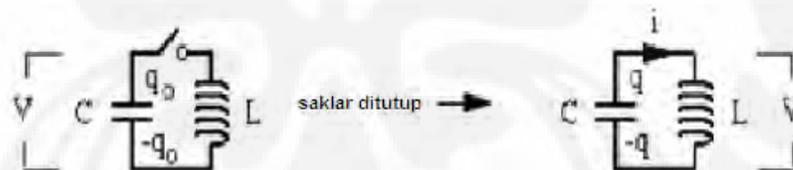
Pada saat  $t = T/2$ , tidak ada lagi arus yang mengalir di rangkaian, dan kapasitor maksimum. Dari  $t = T/2$  sampai  $t = 3T/4$ , kapasitor mulai *discharge*, dan arus mengalir searah jarum jam dan terus meningkat.

Pada saat  $t = 3T/4$ , kapasitor sudah kosong, arus mengalir maksimum melewati induktor searah jarum jam.

Dari  $t = 3T/4$  sampai  $t = T$ , kapasitor mulai mengisi kembali, arus berjalan menuju kapasitor dengan sisi yang sama dengan sisi awal searah jarum jam dan terus menurun sampai kapasitor penuh.

Hal ini terus berulang ke awal, sehingga didapatkan sinyal yang bolak balik.

### 2.5.2. Osilasi Rangkaian LC



Gambar 2.15. Osilasi Rangkaian LC [5]

Mengacu pada gambar 2.15, ketika saklar ditutup, maka tegangan pada kapasitor dan induktor bernilai sama,

$$V_C = V_L \quad (2.16)$$

Tegangan pada kapasitor adalah  $q/C$ , dimana tegangan yang melalui induktor adalah -1 kali dari ggl yang di induksikan, sehingga

$$\frac{q}{c} = -\varepsilon_L \quad (2.17)$$

$$\frac{q}{c} = L \frac{di}{dt} \quad (2.18)$$

Untuk menghubungkan antara arus (i) dengan kapasitansi (q), maka kedua sisi diturunkan menjadi,

$$\frac{1}{c} \frac{dq}{dt} = L \frac{d^2i}{dt^2} \quad (2.19)$$

Atur kedua sisi, dan telah kita ketahui bahwa  $i = -dq/dt$ , sehingga persamaan 2.19 dapat ditulis,

$$\frac{1}{LC} \frac{dq}{dt} = \frac{d^2i}{dt^2} \quad (2.20)$$

$$\frac{1}{LC} i = \frac{d^2i}{dt^2} \quad (2.21)$$

Maka akan diperoleh persamaan arusnya adalah

$$i = i_m \sin \omega_0 t \quad (2.22)$$

Dimana frekuensi angularnya,

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (2.23)$$

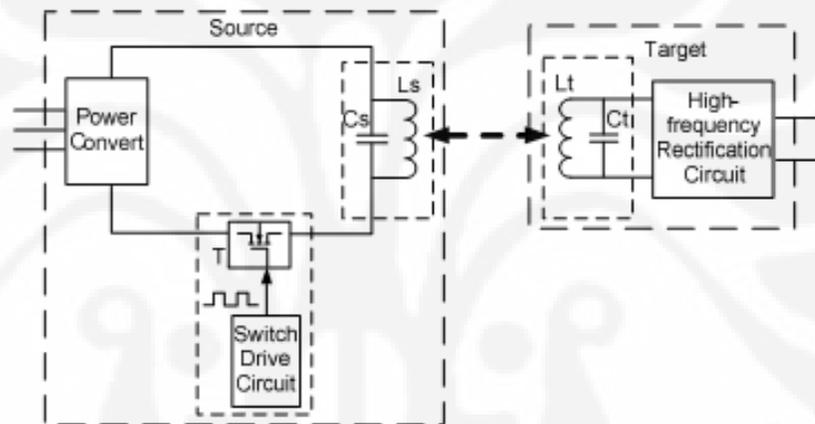
Jika kita beri batasan dimana  $i = 0$ , saat  $t = 0$ , karena arus (induktor tidak dapat berubah secara langsung), maka kita dapat menentukan nilai dari kapasitansi kapasitor pada saat mengisi yaitu dengan cara mengintegrasikan arus (i) dan mengalikan -1, maka diperoleh,

$$q = q_0 \cos \omega_0 t \quad (2.24)$$



Gambar 2.16. Skematik Analisa Noda Rangkaian LC [5]

## 2.6. Struktur Pengiriman Daya Listrik Tanpa Kabel [6]



Gambar 2.17. Skema Diagram Pengiriman Daya Listrik Tanpa Kabel [6]

Pada gambar 2.17 diatas, ditunjukkan sebuah skema diagram sederhana dari suatu sistem pengiriman daya listrik tanpa kabel dengan menggunakan prinsip induksi resonansi magnet. Blok disebelah kiri (ditandai dengan garis putus-putus) merupakan suatu rangkaian pemancar, sedangkan blok disebelah kanan adalah merupakan rangkaian penerima dari sistem tersebut.

Pada pemancar, sumber listrik arus bolak balik disearahkan terlebih dahulu dengan suatu modul DC, lalu masuk ke dalam rangkaian LC, dalam hal ini  $L_s$  dan  $C_s$ , untuk membuat suatu pembangkit sinyal medan magnet bolak balik yang *non-radiative*. Frekuensi resonansi dari rangkaian LC ini disebut  $f_s$ .

Pada sisi rangkaian penerima, juga terdapat rangkaian LC, dimana  $L_t$  dan  $C_t$  berfungsi untuk menghasilkan resonansi dari medan magnetik yang dihasilkan oleh rangkaian pemancar untuk menerima daya listrik. Frekuensi dari rangkaian penerima disebut  $f_t$ .

Nilai dari frekuensi resonansi magnet pada sisi penerima  $f_t$ , sangat ditentukan oleh frekuensi resonansi magnet pada rangkaian pemancar  $f_s$ . Semakin nilai  $f_t$  mendekati atau sama dengan  $f_s$ , maka semakin besar nilai arus resonansi, semakin kuat medan magnetnya dan semakin besar pula daya listrik yang dapat diterima atau dikirimkan.

Pada rangkaian penerima perlu ditekankan bahwa rangkaian LC tidak harus sama untuk dapat mengirimkan daya listrik, asalkan frekuensi resonansi sama ( $f_t = f_s$ ), maka suatu sistem pengiriman daya listrik tanpa kabel dengan menggunakan induksi resonansi magnet ini juga masih dapat berjalan.

Semakin jauh jarak pengiriman daya listrik dari rangkaian pemancar ke rangkaian penerima, maka semakin kecil juga daya listrik yang dapat diterima oleh rangkaian penerima.

Proses pengiriman daya listrik tanpa kabel ini masih dapat mengirimkan daya listrik meskipun dihalangi oleh berbagai benda non-metal, akan tetapi jika dihalangi oleh metal, maka daya listrik tidak dapat diterima oleh rangkaian penerima.

## BAB 3

### RANCANG BANGUN RANGKAIAN PENERIMA

#### 3.1. Umum

Pada proses pembuatan alat yang dapat mengirimkan daya listrik tanpa kabel (*wireless power transfer*) dengan prinsip induksi resonansi magnetik, terdapat tiga bagian yang utama yaitu,

- Rangkaian sumber arus searah, yang berfungsi untuk mengkonversi tegangan arus bolak balik ke tegangan arus searah untuk menjadi sumber pada rangkaian pemancar.
- Rangkaian Pemancar, yaitu terdiri dari suatu rangkaian pembangkit tegangan arus bolak balik dengan frekuensi tinggi dan rangkaian LC sebagai penghasil frekuensi resonansi magnetik yang akan mengirimkan daya listrik ke rangkaian penerima.
- Rangkaian Penerima, terdiri dari suatu rangkaian LC dengan frekuensi resonansi yang sama dengan rangkaian pemancar, sebagai penangkap induksi resonansi magnetik dari rangkaian pemancar untuk menerima daya listrik yang akan disalurkan menuju beban.



Gambar 3.1. Diagram WPT

Sesuai skematik pada gambar 3.1 diatas, kami merancang dan membuat masing-masing rangkaian yang dibutuhkan untuk membangun sistem pengiriman energi listrik dan melakukan serangkaian percobaan untuk melihat performa dari rangkaian yang kami buat. Kami juga

berusaha melakukan berbagai pengaturan untuk memperoleh hasil maksimal dari rangkaian yang kami buat tersebut.

Dikarenakan keterbatasan peralatan yang ada di departemen elektro Universitas Indonesia, seperti ketersediaan penghasil sinyal atau *function generator* yang memiliki daya tinggi, telah dilakukan banyak percobaan dalam menentukan frekuensi yang optimal dengan peralatan dan komponen seadanya yang beredar di pasaran.

Serangkain percobaan ini telah dilakukan dilakukan di laboratorium dengan menggunakan rangkaian *proto-board* serta melihat bentuk gelombang dan frekuensinya dengan bantuan osiloskop analog.

Setelah diperoleh frekuensi resonansi pada rangkaian pemancar yang telah dianggap cukup dan sistem sudah mulai berjalan (Gambar 3.2 sebelah kiri), mulai dibuat masing-masing rangkaian dengan bantuan software eagle versi 5.6.0 dan membuat beberapa alat pengiriman daya listrik tanpa kabel yang berfungsi dengan lebih baik (Gambar 3.2 sebelah kanan).



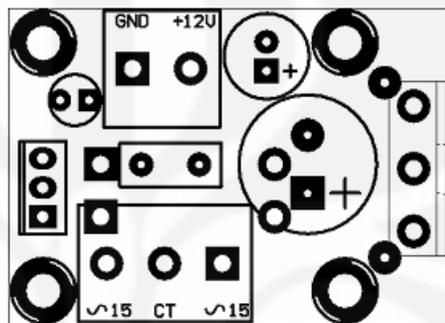
Gambar 3.2. Rangkaian Pemancar Awal

### 3.2. Perancangan Sistem Pengiriman Daya Listrik Tanpa Kabel

Penjelasan tentang proses perancangan masing-masing rangkaian pada suatu sistem pengiriman energi listrik tanpa kabel dengan prinsip induksi resonansi magnet ini akan kami jelaskan pada subbab berikut ini.

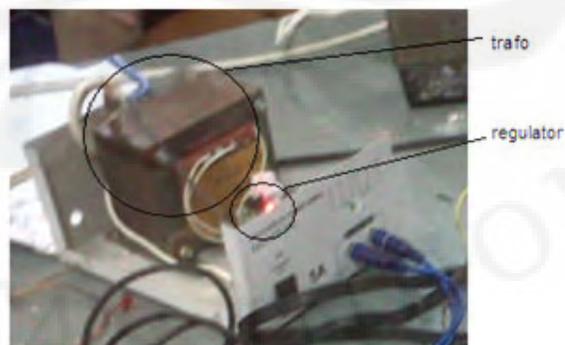
### 3.2.1. Rangkaian Sumber Arus Searah

Dalam proses pembuatan rangkaian sumber arus searah ini, kami membuat agar tegangan keluaran dari rangkaian ini sebesar 12V DC untuk dijadikan masukan sumber pada rangkaian pemancar. Kami juga menggunakan trafo 220/15V 5A, untuk dapat memberikan arus yang cukup ke dalam rangkaian pemancar. Adapun gambar regulator dari rangkaian arus searah ini dapat dilihat pada gambar 3.3 dibawah ini.



Gambar 3.3. Regulator Sumber Arus Searah

Regulator sumber arus searah ini digunakan pada suatu sistem untuk meregulasi tegangan DC sistem agar didapatkan sumber tegangan DC yang stabil dan mampu menahan arus yang cukup besar (sampai dengan 5A) sesuai dengan karakteristik trafo yang dipakai dalam percobaan ini. Regulator ini memakai konfigurasi dioda penyearah gelombang penuh dengan keluaran tetap 12V (11.98V-12.02V) dengan *noise* yang dapat diabaikan, serta dilengkapi juga dengan *current booster* sehingga mampu menahan arus sampai dengan 5A dari keluaran trafo.



Gambar 3.4. Rangkaian Sumber Arus Searah

### 3.2.2. Rangkaian Pemancar

Dalam suatu sistem pengiriman daya listrik tanpa kabel rangkaian pemancar merupakan rangkaian yang sangat penting dalam proses timbulnya resonansi magnetik. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, bahwa rangkaian pemancar terdiri dari suatu rangkaian penghasil arus bolak balik frekuensi tinggi dan suatu rangkaian LC yang berfungsi sebagai penghasil frekuensi resonansi. Perancangan rangkaian pemancar ini dilakukan dengan bantuan software eagle versi 5.6.0. Pada rangkaian pemancar, semua komponen dirancang untuk mencapai frekuensi resonansi tertentu, agar dapat mengirimkan daya listrik dengan baik. Pada gambar 3.5 berikut ini adalah gambar rangkaian pemancar yang sudah dirancang dan dapat berjalan dengan baik.



Gambar 3.5. Sistem WPT

Pada gambar 3.2, terlihat bahwa rangkaian pemancar awal sudah dapat berfungsi dengan baik, akan tetapi dengan perancangan yang lebih optimal, seperti perbaikan pada *loop* atau antena pemancar, rangkaian yang telah disolder, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.5, terlihat pada sistem bahwa daya listrik yang dapat diterima menjadi lebih jauh dan lebih baik.

### 3.2.3. Rangkaian Penerima

Rangkaian penerima hanya terdiri dari rangkaian LC saja yang akan terhubung ke beban. Rangkaian LC pada rangkaian penerima berfungsi untuk menerima induksi resonansi magnetik yang dihasilkan

oleh rangkaian pemancar. Untuk mendapatkan kinerja yang baik, maka frekuensi resonansi sendiri pada rangkaian penerima harus sama atau mendekati dengan frekuensi resonansi kopling yang ada pada rangkaian pemancar. Bentuk, ukuran, serta nilai tidak harus sama atau identik, asalkan syarat frekuensi resonansi kopling terpenuhi. Dalam suatu sistem pengiriman daya listrik tanpa kabel, konstruksi dan perancangan pada sisi penerima juga akan sangat mempengaruhi daya listrik yang dapat diterima baik itu dalam hal jarak maupun tegangan keluaran yang dihasilkan ke beban. Unjuk kerja yang dihasilkan dalam sistem ini lebih baik jika dibandingkan dengan menggunakan konsep induksi konvensional seperti pada konsep yang dipakai pada trafo, akan tetapi tidak lebih baik jika dibandingkan dengan memakai kabel seperti biasa.

Jika dibandingkan secara kasat mata bentuk *loop* atau antena pada gambar 3.2 dan 3.5, tentu terlihat jelas bahwa pada gambar 3.5 didapatkan kinerja yang lebih baik daripada gambar 3.2. Oleh karena itu perlu dirancang dan dibentuk suatu rangkaian penerima yang baik agar didapatkan kinerja yang lebih baik pada sistem tersebut. Gambar 3.6 berikut ini adalah gambar dari rangkaian penerima yang telah didesain sedemikian rupa sehingga memiliki frekuensi resonansi yang sama dengan frekuensi resonansi pada rangkaian pemancar.

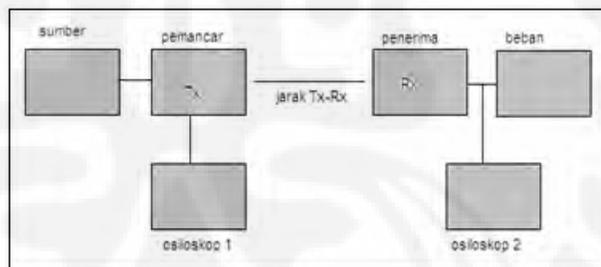


Gambar 3.6. Rangkaian Penerima

### 3.3. Prosedur Percobaan

Percobaan yang dilakukan pada skripsi ini adalah untuk merancang dan membuat rangkaian penerima yang lebih baik dari rangkaian penerima yang sebelumnya, agar dapat diperoleh jarak yang lebih jauh dan tegangan keluaran yang diinginkan.

Percobaan dilakukan dengan melakukan perubahan pada kapasitor di rangkaian LC pada sisi penerima, agar memperoleh nilai frekuensi resonansi sendiri yang sesuai dengan rangkaian pemancar sebagai penghasil frekuensi resonansi kopling, sehingga dapat mencapai hasil kinerja yang lebih baik. Untuk beban, dipakai lampu 12V 8W sebagai indikasi terang atau redupnya lampu, sesuai perubahan kapasitor dan jarak. Sedangkan pada sisi rangkaian pemancarnya tidak dilakukan percobaan, dan menggunakan rangkaian pemancar dengan tanggapan frekuensi resonansi serta kondisi yang paling baik, yaitu dengan 6 kapasitor. Gambar 3.7 menunjukkan diagram rencana pengukuran pada percobaan-percobaan yang dilakukan, sedangkan gambar 3.8 menunjukkan kondisi kenyataan pada saat pengambilan data.



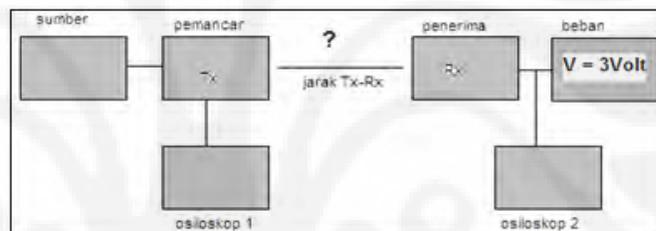
Gambar 3.7. Diagram Pengukuran Percobaan



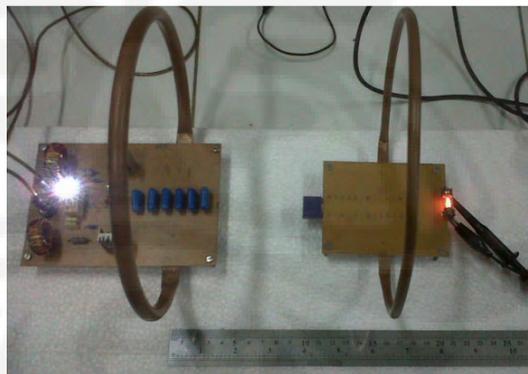
Gambar 3.8. Prosedur Pengambilan Data

### 3.3.1. Percobaan Tegangan Keluaran Tetap

Pada percobaan ini, pada sisi rangkaian penerima, tegangan keluaran diatur sehingga bernilai tetap, yaitu  $\pm 3V$  pada beban, jumlah kapasitor ditambah dari 1 – 10, dan diukur jarak dari antara antenna rangkaian pemancar dengan antenna pada rangkaian penerima, serta frekuensi resonansi pada pemancar dan penerima. Gambar 3.9 menunjukkan diagram percobaan tegangan keluaran tetap, sedangkan gambar 3.10 menunjukkan salah satu proses pengambilan data yang dilakukan pada percobaan tegangan keluaran tetap dimana nilai dari kapasitornya sebesar 7C, dan tegangan keluaran diatur sedemikian rupa sehingga bernilai 3V, untuk melihat jarak antara antenna pemancar dan antenna penerima.



Gambar 3.9. Diagram Percobaan Tegangan Keluaran Tetap

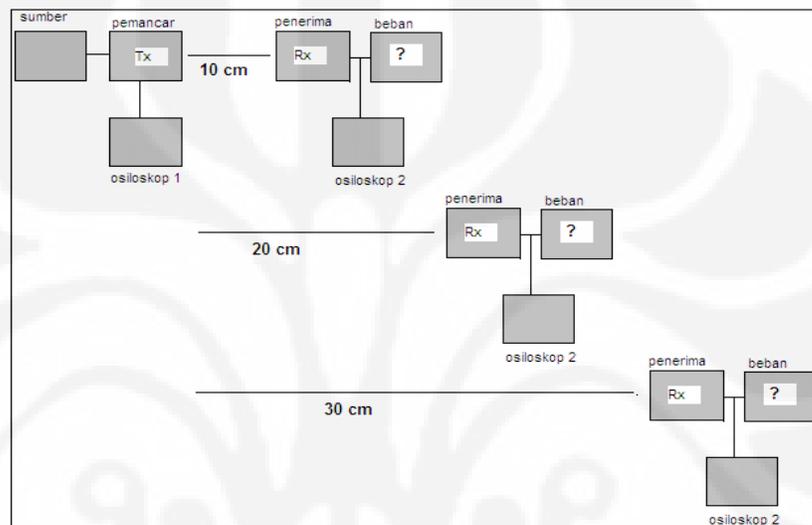


Gambar 3.10. Pengambilan Data Percobaan Tegangan Keluaran Tetap

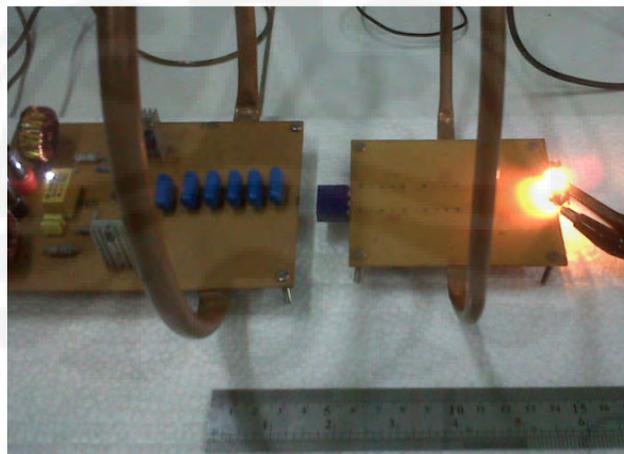
### 3.3.2. Percobaan Jarak Tetap

Pada percobaan ini, jarak dari rangkaian pemancar ke rangkaian penerima diatur tetap, jumlah kapasitor ditambah dari 1 – 10, dan diukur

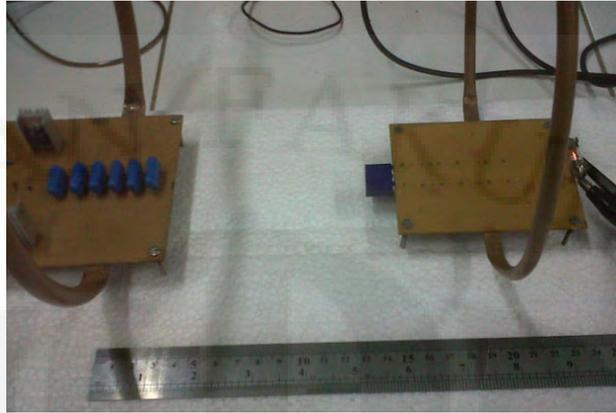
besar dari tegangan keluaran pada beban serta frekuensi resonansi pada sistem. Pada percobaan ini akan dilakukan sebanyak tiga kali yaitu pada jarak tetap 10cm, 20cm, dan 30cm. Pada gambar 3.11, akan ditunjukkan diagram untuk pengukuran pada percobaan jarak tetap, sedangkan pada gambar 3.12 sampai gambar 3.14 ditunjukkan contoh pengambilan data percobaan pada percobaan jarak tetap.



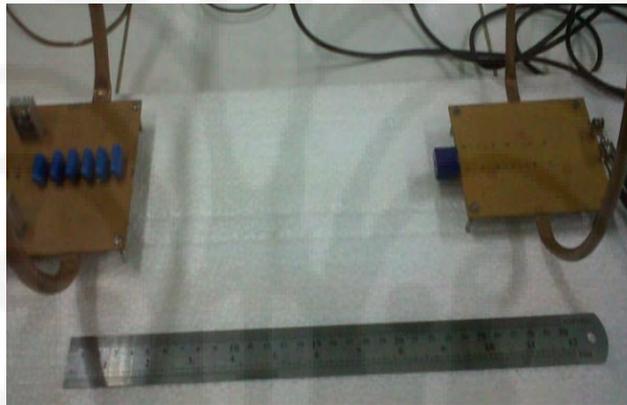
Gambar 3.11. Diagram Pengukuran Jarak Tetap



Gambar 3.12. Contoh Pengambilan Data Percobaan Jarak Tetap (10cm)



Gambar 3.13. Contoh Pengambilan Data Percobaan Jarak Tetap (20cm)



Gambar 3.14. Contoh Pengambilan Data Percobaan Jarak Tetap (30cm)

**BAB 4**  
**ANALISIS HASIL PERCOBAAN**

**4.1. Data Percobaan**

4.1.1. Data Percobaan Tegangan Keluaran Tetap

Data percobaan tegangan keluaran tetap dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1. Data Percobaan Tegangan Keluaran Tetap

Percobaan I							
Vrms receiver tetap							
Vrms receiver: $\pm 3V$							
Beban : Lampu 12V 8W							
transmitter			receiver			C	Jarak(Cm)
Vrms(Volt)	Vpp(Volt)	F(MHz)	Vrms(Volt)	Vpp(Volt)	F(MHz)		
22.90	65.60	1.322	3.03	8.56	1.326	1	11.50
23.00	66.00	1.302	3.01	8.56	1.323	2	13.40
22.80	65.60	1.331	3.03	8.56	1.323	3	16.00
22.70	66.00	1.334	3.00	8.56	1.324	4	20.90
22.70	65.60	1.322	3.03	8.60	1.325	5	32.50
23.00	66.00	1.311	3.01	8.60	1.327	6	27.00
23.10	65.60	1.332	3.01	8.60	1.329	7	25.50
22.90	64.80	1.304	3.03	8.60	1.334	8	18.50
22.80	65.60	1.334	3.01	8.60	1.324	9	15.20
23.00	66.00	1.324	3.01	8.60	1.331	10	13.00

4.1.2. Data Percobaan Jarak Tetap

Data percobaan dengan jarak tetap dapat dilihat dari tabel 4.2 sampai 4.4 dibawah ini, dimana tabel 4.2 menunjukkan data pada jarak tetap 10cm, tabel 4.3 menunjukkan data pada jarak tetap 20cm, dan tabel 4.4 menunjukkan data pada jarak tetap 30cm.

Tabel 4.2. Data Percobaan Jarak Tetap (10cm)

Percobaan II							
Jarak Konstan							
1. Jarak Konstan : 10 cm							
Beban : Lampu 12V 8W							
transmitter			receiver			C	Jarak(Cm)
Vrms(Volt)	Vpp(Volt)	F(MHz)	Vrms(Volt)	Vpp(Volt)	F(MHz)		
23.10	64.00	1.274	3.80	10.60	1.324	1	10.00
21.90	62.40	1.281	4.88	13.80	1.321	2	10.00
21.80	61.60	1.302	6.80	19.00	1.311	3	10.00
22.40	64.00	1.298	10.80	30.80	1.298	4	10.00
22.20	65.60	1.297	17.80	51.20	1.264	5	10.00
22.50	65.60	1.275	14.60	41.60	1.281	6	10.00
22.70	65.60	1.371	13.40	37.80	1.372	7	10.00
22.50	64.80	1.372	8.01	22.60	1.362	8	10.00
22.80	66.40	1.363	5.76	16.20	1.356	9	10.00
22.30	65.60	1.302	4.41	12.40	1.352	10	10.00

Tabel 4.3. Data Percobaan Jarak Tetap (20cm)

Percobaan II							
Jarak Konstan							
2. Jarak Konstan : 20 cm							
Beban : Lampu 12V 8W							
transmitter			receiver			C	Jarak(Cm)
Vrms(Volt)	Vpp(Volt)	F(MHz)	Vrms(Volt)	Vpp(Volt)	F(MHz)		
23.10	65.60	1.316	1.08	2.96	1.325	1	20.00
23.10	65.60	1.318	1.36	3.76	1.325	2	20.00
22.80	65.60	1.321	1.98	5.60	1.324	3	20.00
23.00	65.60	1.322	3.33	9.40	1.323	4	20.00
22.40	64.80	1.316	10.40	29.20	1.316	5	20.00
22.80	65.60	1.333	6.33	17.20	1.331	6	20.00
22.50	66.40	1.329	5.11	14.40	1.330	7	20.00
22.80	65.60	1.328	3.86	8.80	1.328	8	20.00
22.60	66.40	1.327	1.59	4.48	1.327	9	20.00
22.30	65.60	1.327	1.22	3.44	1.327	10	20.00

Tabel 4.4. Data Percobaan Jarak Tetap (30cm)

Percobaan II							
Jarak Konstan							
3. Jarak Konstan : 30 cm							
Beban : Lampu 12V 8W							
transmitter			receiver			C	Jarak(Cm)
Vrms(Volt)	Vpp(Volt)	F(MHz)	Vrms(Volt)	Vpp(Volt)	F(MHz)		
23.10	65.60	1.311	0.48	1.12	1.333	1	30.00
22.90	65.60	1.332	0.52	1.40	1.326	2	30.00
23.10	65.60	1.303	0.80	2.00	1.325	3	30.00
23.20	66.40	1.331	1.23	3.48	1.325	4	30.00
22.70	64.40	1.322	4.19	11.20	1.325	5	30.00
22.90	65.60	1.312	2.74	6.80	1.324	6	30.00
22.50	65.60	1.334	1.82	5.16	1.329	7	30.00
22.90	66.40	1.301	0.94	2.64	1.323	8	30.00
23.00	65.60	1.334	0.57	1.60	1.326	9	30.00
22.70	65.60	1.324	0.30	1.12	1.316	10	30.00

## 4.2. Pengolahan Data

### 4.2.1. Pengolahan Data Tegangan Keluaran Tetap

Tabel 4.5. Pengolahan Data Percobaan Tegangan Keluaran Tetap

Percobaan Tegangan Keluaran Tetap									
ft(MHz)	fth(MHz)	error ft(%)	fr(MHz)	frh(MHz)	error fr(%)	frh LC(MHz)	$\Delta$ fr(%)	C	D(cm)
1.322	1.246	6.06%	1.326	1.246	6.38%	3.053	56.57%	1	11.5
1.302	1.246	4.46%	1.323	1.246	6.14%	2.159	38.72%	2	13.4
1.331	1.246	6.78%	1.323	1.246	6.14%	1.763	24.95%	3	16
1.334	1.246	7.02%	1.324	1.246	6.22%	1.527	13.27%	4	20.9
1.322	1.246	6.06%	1.325	1.246	6.30%	1.365	2.96%	5	32.5
1.311	1.246	5.18%	1.327	1.246	6.46%	1.246	6.46%	6	27
1.332	1.246	6.86%	1.329	1.246	6.62%	1.154	15.16%	7	25.5
1.304	1.246	4.62%	1.334	1.246	7.02%	1.079	23.58%	8	18.5
1.334	1.246	7.02%	1.324	1.246	6.22%	1.018	30.09%	9	15.2
1.324	1.246	6.22%	1.331	1.246	6.78%	0.966	37.85%	10	13

Keterangan untuk tabel 4.5 sampai dengan tabel 4.8 adalah sebagai berikut :

- $F_t$  = frekuensi *transmitter* (MHz) dalam percobaan
- $F_{th}$  = frekuensi *transmitter* (MHz) dalam perhitungan
- Error  $f_t$  = selisih  $f_t$  dengan  $f_{th}$  (%)
- $F_r$  = frekuensi *receiver* (MHz) dalam percobaan
- $F_{rh}$  = frekuensi *receiver* (MHz) dalam perhitungan
- Error  $f_r$  = selisih  $f_r$  dengan  $f_{rh}$  (%)
- $F_{rh LC}$  = frekuensi resonansi sendiri dari rangkaian LC pada *receiver* (MHz) dalam perhitungan
- $\Delta f_r$  = selisih  $f_r$  dengan  $f_{rh LC}$  (%)
- $C$  = jumlah kapasitor
- $D$  = jarak antara *loop transmitter* dengan *loop receiver*

Untuk nilai induktansi ( $L$ ) dan nilai kapasitansi ( $C$ ) diukur dengan menggunakan LCR meter, sedangkan nilai frekuensi resonansinya baik itu pada rangkaian pemancar maupun pada rangkaian penerima menggunakan penurunan rumus dari persamaan (2.23).

Sebagai contoh, pada data ke-5, untuk frekuensi resonansi pada pemancar, menggunakan 6 kapasitor dihitung dengan menggunakan penurunan dari persamaan (2.23), sehingga jika memasukkan nilai induktansi ( $L$ ) dan kapasitansinya ( $C$ ) didapatkan nilai  $f_{th} = 1.246$  MHz. Error  $f_t$  diperoleh dengan cara menghitung selisih antara  $f_t$  dengan  $f_{th}$  dibagi dengan  $f_{th}$ , dan didapat error pada data ke-5 yaitu  $(1.322-1.246) / 1.246 = 6.06\%$ .

Menurut [2], nilai dari frekuensi resonansi bersama pada sisi penerima bernilai sama dengan frekuensi resonansi pada pemancar, oleh karena itu, frekuensi resonansi penerima menurut perhitungan ( $f_{rh}$ ) bernilai sama dengan  $f_{th}$  yaitu 1.246 MHz. Adapun error  $f_r$  diperoleh dengan cara menghitung selisih antara  $f_r$  dengan  $f_{rh}$  dibagi dengan  $f_{rh}$ , dan didapat error  $f_r$  pada data ke-5 yaitu  $(1.325-1.246) / 1.246 = 6.30\%$ .

Sedangkan dengan menggunakan persamaan yang sama dengan nilai kapasitor menggunakan 5 kapasitor, frekuensi resonansi sendiri ( $f_{rh}$  LC) pada rangkaian penerima juga dapat dihitung, dan sehingga jika memasukkan nilai induktansi (L) dan kapasitansinya (C) diperoleh nilai  $f_{rh}$  LC = 1.365 MHz.

Nilai  $\Delta f_r$  pada tanggapan frekuensi resonansi dapat diperoleh berdasarkan perbandingan antara selisih data perhitungan dengan data percobaan dibagi dengan data perhitungan ( $(f_{rh}$  LC –  $f_r$ ) /  $f_{rh}$  LC), maka diperoleh  $\Delta f_r$  pada data ke-5 sebesar 2.96 %.

#### 4.2.2. Pengolahan Data Jarak Tetap

Dengan cara yang sama dengan pengolahan data pada percobaan dengan tegangan keluaran tetap diatas, maka tabel 4.6 sampai 4.8 menunjukkan nilai error dari frekuensi resonansi pada percobaan dengan data jarak tetap.

Tabel 4.6 menunjukkan pengolahan data pada jarak yang tetap 10cm, tabel 4.7 menunjukkan pengolahan data pada jarak tetap 20cm, dan tabel 4.8 menunjukkan pengolahan data pada jarak tetap 30cm.

Tabel 4.6. Pengolahan Data Percobaan Jarak Tetap 10cm

Percobaan Jarak Tetap 10cm									
ft(MHz)	fth(MHz)	error ft(%)	fr(MHz)	frh(MHz)	error fr(%)	frh LC(MHz)	$\Delta f_r$ (%)	C	D(cm)
1.274	1.246	2.21%	1.324	1.246	6.22%	3.053	56.64%	1	10
1.281	1.246	2.77%	1.321	1.246	5.98%	2.159	38.81%	2	10
1.302	1.246	4.46%	1.311	1.246	5.18%	1.763	25.63%	3	10
1.298	1.246	4.13%	1.298	1.246	4.13%	1.527	14.97%	4	10
1.297	1.246	4.05%	1.264	1.246	1.41%	1.365	7.43%	5	10
1.275	1.246	2.29%	1.351	1.246	8.39%	1.246	8.39%	6	10
1.371	1.246	9.99%	1.371	1.246	9.99%	1.154	18.80%	7	10
1.372	1.246	10.07%	1.362	1.246	9.27%	1.079	26.17%	8	10
1.363	1.246	9.35%	1.356	1.246	8.79%	1.018	33.24%	9	10
1.302	1.246	4.46%	1.352	1.246	8.47%	0.966	40.03%	10	10

Tabel 4.7. Pengolahan Data Percobaan Jarak Tetap 20cm

Percobaan Jarak Tetap 20cm									
ft(MHz)	fth(MHz)	error ft(%)	fr(MHz)	frh(MHz)	error fr(%)	frh LC(MHz)	$\Delta$ fr(%)	C	D(cm)
1.316	1.246	5.58%	1.325	1.246	6.30%	3.053	56.60%	1	20
1.318	1.246	5.74%	1.325	1.246	6.30%	2.159	38.63%	2	20
1.321	1.246	5.98%	1.324	1.246	6.22%	1.763	24.89%	3	20
1.322	1.246	6.06%	1.323	1.246	6.14%	1.527	13.34%	4	20
1.316	1.246	5.58%	1.316	1.246	5.58%	1.365	3.62%	5	20
1.333	1.246	6.94%	1.331	1.246	6.78%	1.246	6.78%	6	20
1.329	1.246	6.62%	1.330	1.246	6.70%	1.154	15.25%	7	20
1.328	1.246	6.54%	1.328	1.246	6.54%	1.079	23.02%	8	20
1.327	1.246	6.46%	1.327	1.246	6.46%	1.018	30.39%	9	20
1.327	1.246	6.46%	1.327	1.246	6.46%	0.966	37.44%	10	20

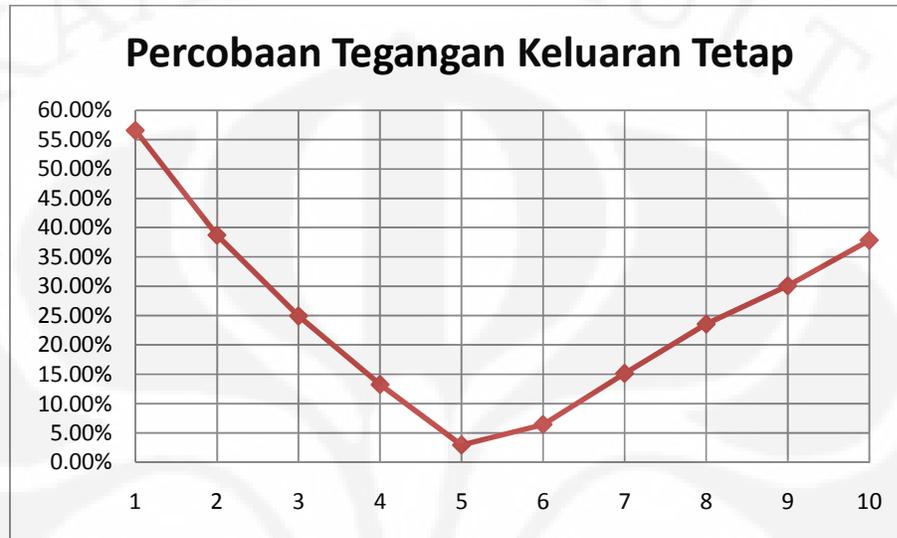
Tabel 4.8. Pengolahan Data Percobaan Jarak Tetap 30cm

Percobaan Jarak Tetap 30cm									
ft(MHz)	fth(MHz)	error ft(%)	fr(MHz)	frh(MHz)	error fr(%)	frh LC(MHz)	$\Delta$ fr(%)	C	D(cm)
1.311	1.246	5.18%	1.333	1.246	6.94%	3.053	56.34%	1	30
1.332	1.246	6.86%	1.326	1.246	6.38%	2.159	38.58%	2	30
1.303	1.246	4.54%	1.325	1.246	6.30%	1.763	24.83%	3	30
1.331	1.246	6.78%	1.325	1.246	6.30%	1.527	13.21%	4	30
1.322	1.246	6.06%	1.325	1.246	6.30%	1.365	2.96%	5	30
1.312	1.246	5.26%	1.324	1.246	6.22%	1.246	6.22%	6	30
1.334	1.246	7.02%	1.329	1.246	6.62%	1.154	15.16%	7	30
1.301	1.246	4.38%	1.323	1.246	6.14%	1.079	22.56%	8	30
1.334	1.246	7.02%	1.326	1.246	6.38%	1.018	30.29%	9	30
1.324	1.246	6.22%	1.316	1.246	5.58%	0.966	36.30%	10	30

### 4.3. Analisis Data Percobaan

#### 4.3.1. Analisis Data Frekuensi

##### 4.3.1.1. Analisis Data Frekuensi Tegangan Keluaran Tetap



Gambar 4.1. Grafik Hubungan Kapasitor dan  $\Delta fr$  Pada Percobaan Tegangan Keluaran Tetap

Pada tabel 4.5 dan grafik 4.1, terlihat perbandingan frekuensi resonansi dalam percobaan dan perhitungan baik itu pada bagian pemancar dan bagian rangkaian penerima. Pada percobaan ini terlihat bahwa nilai frekuensi resonansi kopling pada rangkaian pemancar dan penerima, dari data pertama sampai data ke-10, besarnya kesalahan hanya berkisar antara 4 – 7% saja. Ini membuktikan bahwa dengan perhitungan diperoleh nilai yang masih akurat pada percobaan. Kesalahan yang diperoleh dapat diakibatkan karena kesalahan pembacaan alat ukur yang nilainya selalu berubah-ubah karena menggunakan osiloskop digital maupun karena kondisi alat atau komponen yang tidak ideal.

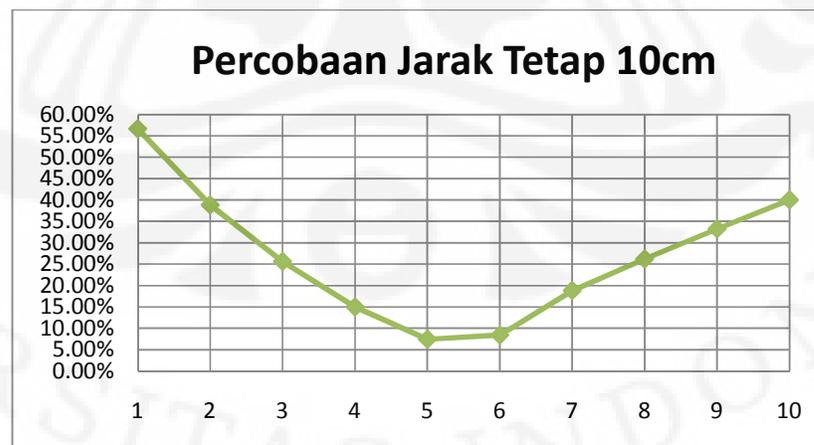
Akan tetapi, hal yang sangat berbeda terjadi di frekuensi resonansi sendiri rangkaian LC (frh LC) pada rangkaian penerima. Pada data pertama, didapatkan nilai  $\Delta fr$  yang sangat besar, yaitu sebesar 56.57%. Hal ini disebabkan oleh perangkaian pada rangkaian LC yang hanya menggunakan 1 kapasitor saja sedangkan pada pemancar menggunakan 6

kapasitor, sehingga nilai frekuensi resonansi sendiri yang telah di desain tidak sama atau sangat jauh berbeda dengan frekuensi resonansi kopling pada sistem (yang terukur pada osiloskop).

Hal ini sangat berpengaruh pada jarak pengiriman. Semakin frekuensi resonansi sendiri dengan frekuensi resonansi kopling sama, maka daya yang akan diterima juga akan lebih besar dan lebih baik (dengan indikasi terang redupnya lampu pada beban). Pada data kedua, dengan menggunakan 2 kapasitor, nilai selisih  $\Delta f_r$  masih besar yaitu 38.72%, akan tetapi menjadi lebih baik, karena nilai frekuensi resonansi dari rangkaian LC di penerima mulai mendekati nilai frekuensi resonansi pada pemancar atau frekuensi resonansi kopling.

Seperti yang terlihat pada gambar 4.1, nilai yang paling mendekati dengan frekuensi resonansi kopling, adalah pada saat menggunakan 5 kapasitor, setelah itu  $\Delta f_r$  akan menjadi besar kembali. Menurut percobaan, frekuensi pada rangkaian penerima yang sama dengan pemancar adalah pada saat memakai 5 kapasitor, sedangkan pada rangkaian pemancar menggunakan 6 kapasitor, jika dihitung secara matematis, nilai frekuensi pada sisi penerima akan sedikit lebih tinggi dari frekuensi pemancar untuk mencapai kondisi frekuensi resonansi kopling yang akhirnya sama.

#### 4.3.1.2. Analisis Data Frekuensi Jarak Tetap



Gambar 4.2. Grafik Hubungan Kapasitor dan  $\Delta f_r$  Pada Percobaan Jarak Tetap 10cm



Gambar 4.3. Grafik Hubungan Kapasitor dan  $\Delta f$  Pada Percobaan Jarak Tetap 20cm



Gambar 4.4. Grafik Hubungan Kapasitor dan  $\Delta f$  Pada Percobaan Jarak Tetap 30cm

Pada gambar 4.2 sampai gambar 4.4 merupakan hubungan jumlah kapasitor terhadap  $\Delta f$  pada percobaan jarak tetap. Gambar 4.2 merupakan percobaan pada jarak tetap 10cm, gambar 4.3 merupakan gambar grafik pada percobaan jarak tetap 20cm, dan gambar 4.4 merupakan gambar grafik pada percobaan jarak tetap 30cm. Dari gambar 4.2 sampai 4.4 dan

tabel 4.6 sampai 4.8, pengaruh nilai frekuensi resonansi sendiri pada rangkaian penerima dalam perhitungan terhadap frekuensi resonansi pemancar sama dengan seperti yang dijelaskan pada sub bab 4.3.1.1. diatas.

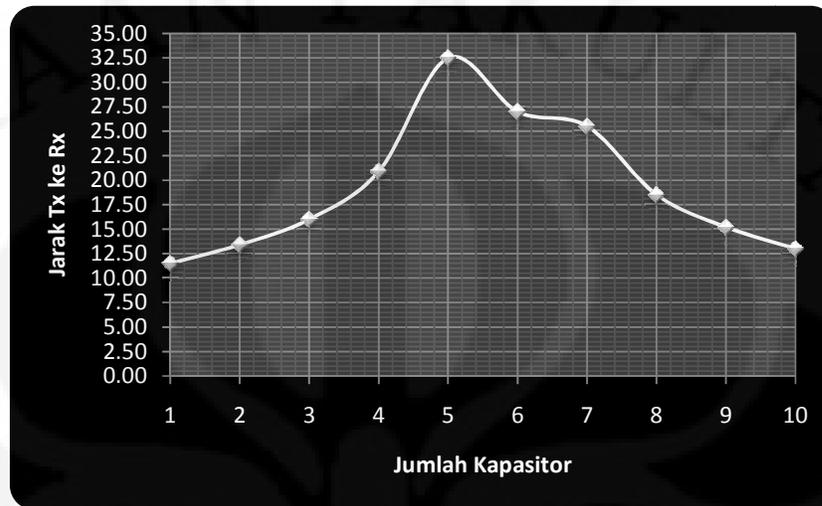
Nilai  $\Delta f_r$  paling kecil selalu terjadi pada saat memakai 5 kapasitor, yang berarti dalam kondisi tersebut terjadi resonansi magnetik paling kuat. Nilai error  $f_t$  dan error  $f_r$  yang terjadi pada pemancar dan penerima merupakan kesalahan dalam pembacaan alat ukur atau kondisi komponen elektronika yang tidak ideal, karena nilainya pada ketiga gambar dan tabel diatas memiliki nilai yang sangat kecil dan tidak lebih dari 11%.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, maka semakin nilai perhitungan frekuensi resonansi pada rangkaian LC di sisi penerima sama dengan nilai pada frekuensi pemancar atau frekuensi resonansi kopling, maka tanggapan akan semakin bagus, daya listrik yang dikirimkan dan yang dapat diterima juga akan semakin baik, serta resonansi magnetik yang terjadi juga yang paling kuat. Hal ini terus terjadi, meskipun daya listrik sudah tidak dapat dikirimkan dan diterima dengan baik.

Sebagai contoh, pada jarak 30cm, disaat daya listrik sudah tidak dapat dikirimkan dengan baik ditandai dengan tidak menyalnya lagi beban lampu 12V 8W, fenomena resonansi kopling ini terus terjadi, yang dalam arti masih terjadi resonansi magnetik dengan indikasi bahwa besarnya frekuensi resonansi bersama pada rangkaian pemancar dan rangkaian penerima di dalam suatu sistem pengiriman daya listrik tanpa kabel ini dapat dianggap bernilai sama, sehingga hal ini perlu dikaji lebih lanjut, guna menambah performansi dari suatu sistem pengiriman daya listrik tanpa kabel ini.

### 4.3.2. Analisis Data Jarak dan Tegangan Keluaran

#### 4.3.2.1. Analisis Data Percobaan Tegangan Keluaran Tetap

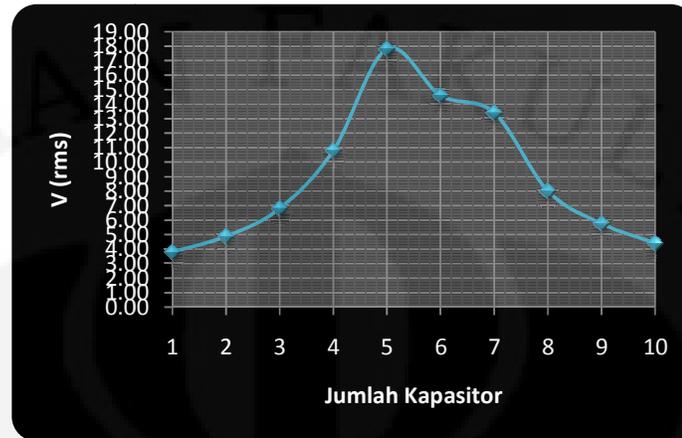


Gambar 4.5. Grafik Hubungan Kapasitor dengan Jarak

Pada percobaan ini, tegangan keluaran dijaga tetap sebesar 3V AC dan dilihat jarak pada saat tegangan keluaran 3V AC. Dapat dilihat pada gambar 4.5 bahwa ketika jumlah kapasitor 5, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya frekuensi resonansi sendiri dari rangkaian penerima bernilai hampir sama dengan frekuensi resonansi dari pemancar atau frekuensi resonansi kopling, dan mengakibatkan pada saat inilah resonansi magnetik pada sistem pengiriman daya listrik tanpa kabel bernilai paling kuat dan daya yang dikirimkan serta yang diterima juga baik, terbukti pada saat kapasitor berjumlah 5, tegangan 3V AC pada sisi penerima berada pada posisi paling jauh diantara percobaan yang lain yaitu sejauh 32.5cm dari rangkaian pemancar.

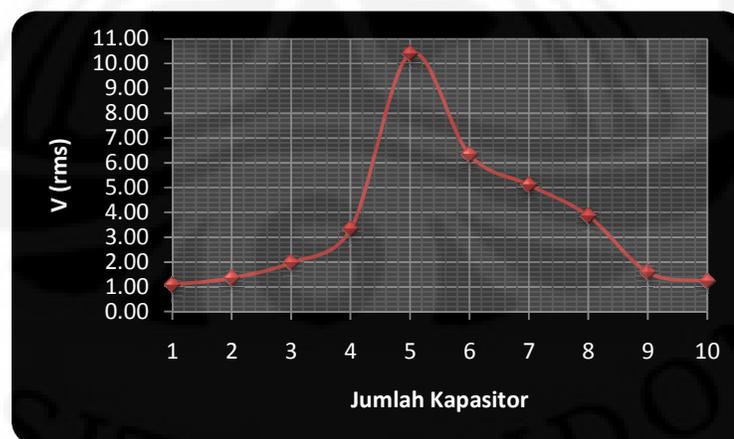
Ketika frekuensi resonansi pada rangkaian penerima jauh melebihi atau sangat menjauhi nilai dari frekuensi resonansi pemancar atau frekuensi resonansi kopling, maka jarak yang dihasilkan pada saat beban rangkaian penerima bernilai 3V AC juga akan berkurang, meskipun ketika diukur di antena penerima, rangkaian penerima itu memiliki frekuensi yang sama dengan rangkaian pemancar.

#### 4.3.2.2. Analisis Data Percobaan Jarak Tetap



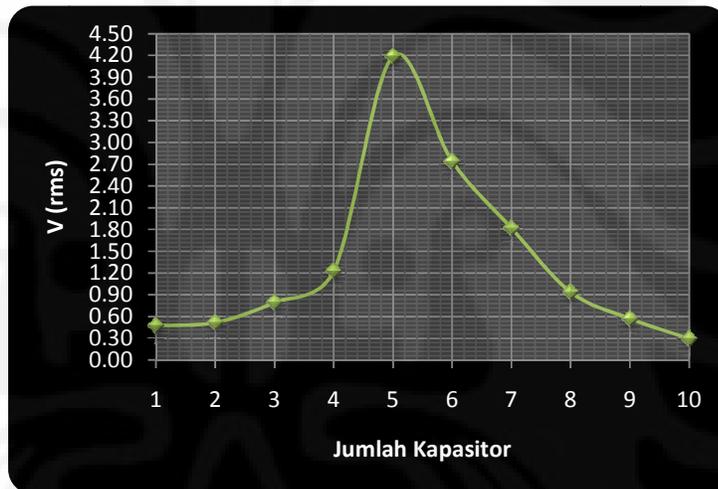
Gambar 4.6. Grafik Hubungan Kapasitor dengan Tegangan Keluaran Pada Jarak 10 cm

Pada gambar 4.6, terlihat hubungan antara penambahan besaran kapasitor dengan tegangan keluaran pada jarak tetap 10cm. Pada jarak yang cukup dekat ini, masih terlihat bahwa dengan jumlah kapasitor sebanyak 5, didapatkan tegangan keluaran yang paling baik yaitu sebesar 17.8V AC. Hubungan kapasitor dengan tegangan memiliki bentuk kurva yang hampir sama, yaitu ketika mencapai titik puncaknya, jika ditambahkan kapasitor lagi, maka nilai tegangan keluarannya akan turun.



Gambar 4.7. Grafik Hubungan Kapasitor dengan Tegangan Keluaran Pada Jarak 20 cm

Pada percobaan jarak tetap 20cm, dapat dilihat pada gambar 4.7, bahwa nilai tegangan ketika kapasitor dinaikkan sampai 5, tegangannya akan terus naik, sedangkan ketika sudah mencapai puncak, yaitu 5 kapasitor, tegangannya akan turun. Bentuk grafiknya tidak jauh berbeda dengan grafik pada saat 10cm dan grafik percobaan tegangan keluaran tetap. Nilai tegangan tidak sebesar pada saat jarak 10cm, karena jaraknya diperjauh. Ini membuktikan bahwa semakin jauh jarak pemancar ke penerima, maka daya listrik yang dapat disalurkan juga akan berkurang. Hal ini disebabkan karena resonansi magnetik dari sistem ini sudah tidak terlalu kuat untuk jarak 20cm.



Gambar 4.8. Grafik Hubungan Kapasitor dengan Tegangan Keluaran Pada Jarak 30 cm

Pada saat jarak semakin dijauhkan 10cm lebih jauh dari percobaan kedua, yaitu pada jarak 30cm, kita dapat melihat bahwa nilai tegangan yang terukur sudah mulai hilang, bahkan indikasi beban yang tadinya masih dapat menyala sekarang sudah padam.

Akan tetapi, masih ada pengaruh dari pemancar terhadap penerima.. Tegangan masih ada, walaupun sudah sangat sedikit, frekuensi resonansi juga masih bernilai sama dengan rangkaian pemancar. Hal ini memungkinkan untuk dapat mengkaji lebih dalam lagi mengenai sistem pengiriman daya listrik tanpa kabel ini agar dapat beroperasi lebih jauh lagi.

Sama seperti percobaan-percobaan yang sebelumnya, pada percobaan ini juga dapat dilihat pada gambar 4.8, bahwa dengan 5 kapasitor, maka sistem pengiriman daya listrik tanpa kabel ini dapat berfungsi dengan baik, meskipun jaraknya cukup jauh yaitu sebesar 30cm.

Seperti yang telah dijelaskan pada analisis sebelumnya bahwa semakin nilai dari frekuensi resonansi dari rangkaian penerima mendekati atau sedikit lebih tinggi dari frekuensi resonansi dari rangkaian pemancar, maka kinerja dari suatu sistem ini akan semakin baik. Nilai dari rangkaian LC pada penerima tidak harus sama persis dengan rangkaian pemancar, akan tetapi harus memiliki frekuensi resonansi kopling yang sama. Sama seperti halnya pada percobaan ini, jumlah kapasitor di pemancar berjumlah 6 sedangkan di rangkaian penerima berjumlah 5, akan tetapi justru pada saat itulah sistem ini bekerja dengan sangat baik.

## BAB 5

### KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari proses rancang bangun rangkaian penerima dalam sistem pengiriman daya listrik tanpa kabel ini adalah sebagai berikut :

1. Rancang bangun rangkaian penerima dalam sistem pengiriman daya listrik tanpa kabel telah berhasil menunjukkan suatu perbaikan dalam hal jarak dan tegangan keluaran.
2. Rangkaian LC pada sisi penerima tidak harus sama dengan atau identik dengan sisi pemancar, akan tetapi harus memiliki nilai frekuensi resonansi yang sama.
3. Frekuensi resonansi pada rangkaian penerima harus didesain agar memiliki besar yang sedikit lebih tinggi dari sisi pemancar.
4. Jarak terjauh yang diperoleh dari percobaan tegangan keluaran tetap yaitu 32.5cm dengan menggunakan rangkaian penerima dengan 5 kapasitor dan rangkaian pemancar 6 kapasitor.
5. Pada percobaan jarak tetap 10cm, diperoleh nilai tegangan keluaran paling tinggi sebesar 17.8 Vrms AC dengan menggunakan rangkaian penerima dengan 5 kapasitor dan rangkaian pemancar 6 kapasitor.
6. Pada percobaan jarak tetap 20cm, diperoleh nilai tegangan keluaran paling tinggi sebesar 10.4 Vrms AC dengan menggunakan rangkaian penerima dengan 5 kapasitor dan rangkaian pemancar 6 kapasitor.
7. Pada percobaan jarak tetap 30cm, diperoleh nilai tegangan keluaran paling tinggi sebesar 4.19 Vrms AC dengan menggunakan rangkaian penerima dengan 5 kapasitor dan rangkaian pemancar 6 kapasitor.

## DAFTAR REFERENSI

- [1] [Http://witricity.com/pages/technology.html](http://witricity.com/pages/technology.html)
- [2] [Http://en.wikipedia.org/wiki/File:BrochureWardencllyffe\\_.PNG](http://en.wikipedia.org/wiki/File:BrochureWardencllyffe_.PNG)
- [3] “Rancang Bangun Pengiriman Daya Listrik Tanpa Kabel / Wireless Energy Transfer Berbasis Energi Terbarukan (Sel Surya)”. DRPM / RUUI Utama / 2010/ I / 4067. 2010.
- [4] Chapman, Stephen J.,”*Electric Machinery and Power System Fundamentals*”, McGraw-Hill, New York, 2002.
- [5] John D Cutnell and Kenneth W. Johnson (2002). *Physics 5 Ed with Compliments*. John Wiley and Sons, Inc. pp 586-615
- [6] Chunbo Zhu, Kai Liu, Chunlai Yu, Rui Ma, Hexiao Cheng. “*Simulation and Experimental Analysis on Wireless Energy Transfer Based on Magnetic Resonances*”. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC., September 3-5, 2008, Harbin, China.)
- [7] [Http://alatperaga.com/images/garputala-fge-22\\_d.jpg](http://alatperaga.com/images/garputala-fge-22_d.jpg)
- [8] [Http://antosusilo.blog.uns.ac.id/files/2009/09/berkas-rem4.jpg](http://antosusilo.blog.uns.ac.id/files/2009/09/berkas-rem4.jpg)
- [9] Marincic, A.S. “*Nikola Tesla And The Wireless Transfer Of Energy*”. *IEEE Transactionson Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-10., No.10 October 1982.