



UNIVERSITAS INDONESIA

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

SKRIPSI

HELMY KAUTSAR
07 06 199 395

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

JULI 2010



UNIVERSITAS INDONESIA

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

SKRIPSI

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

**HELMY KAUTSAR
07 06 199 395**

**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 : Helmy Kautsar

NPM : 0706199395

Tanda Tangan :

Tanggal : Juli 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Helmy Kautsar

NPM : 0706199395

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi :

ANALISA DAN RANCANG BANGUN RANGKAIAN TRANSMITTER PADA 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 I : Dr.Ir.Uno Bintang Sudibyo ()

Penguji II : Aji Nurwidiyanto, ST, MT ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 02 Juli 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur yang teramat besar serta tulus saya panjatkan kepada Allah S.W.T, karena atas ijin dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam semata 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 pemikirannya untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Pihak Laboratorium Pengukuran 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, saya sayang kalian;
4. Terima kasih kepada yang sangat juga kepada teman dekat saya sdr Syamsiah Noviyanti, yang selalu memberikan support dan saran dalam menjalani proses penelitian dan penulisan.
5. Sahabat-sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini, terutama untuk sahabat sahabat pondok duta (Faisal, Ilham, Tio, Fahri, Rifki, Perca, Kiki) dan sahabat perjuangan yaitu Sdr. Michael octora dan Sdr. Nugroho.

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.

Depok, Juli 2010

Helmy kautsar

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Helmy Kautsar
NPM : 0706199395
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 TRANSMITTER PADA TRANSFER DAYA LISTRIK TANPA KABEL

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Tanggal : Juli 2010

Yang menyatakan,

Helmy Kautsar

ABSTRAK

Nama : Helmy Kautsar
Program Studi : Teknik Elektro
Judul :

ANALISA DAN RANCANG BANGUN RANGKAIAN TRANSMITTER PADA TRANSFER DAYA LISTRIK TANPA KABEL

Pada era dimana teknologi *wireless* begitu berkembang pesat terutama dibidang telekomikasi dan transmisi data kecepatan tinggi. Melihat perkembangan teknologi ini maka dilakukan perancangan untuk menghantarkan tegangan menggunakan teknologi *wireless*. Metode yang digunakan pada sistem *Wireless Power Transmission* adalah induksi resonansi magnetik. Dimana, tegangan dengan frekuensi tinggi dipancarkan oleh *transmitter* lalu dengan prinsip resonansi tegangan yang dipancarkan dapat diterima oleh *receiver* dalam bentuk tegangan berfrekuensi sama dengan *transmitter*. Pada penelitian ini untuk menghasilkan tegangan berfrekuensi digunakanlah *royer oscillator*.

Kata kunci : *wireless*, induksi resonansi magnetik, *royer oscilator* .

ABSTRACT

Name : Helmy Kautsar
Study Program : Electrical Engineering
Tittle :

ANALYSIS AND DESIGN TRANSMITTER CIRCUIT FOR WIRELESS POWER TRANSFER

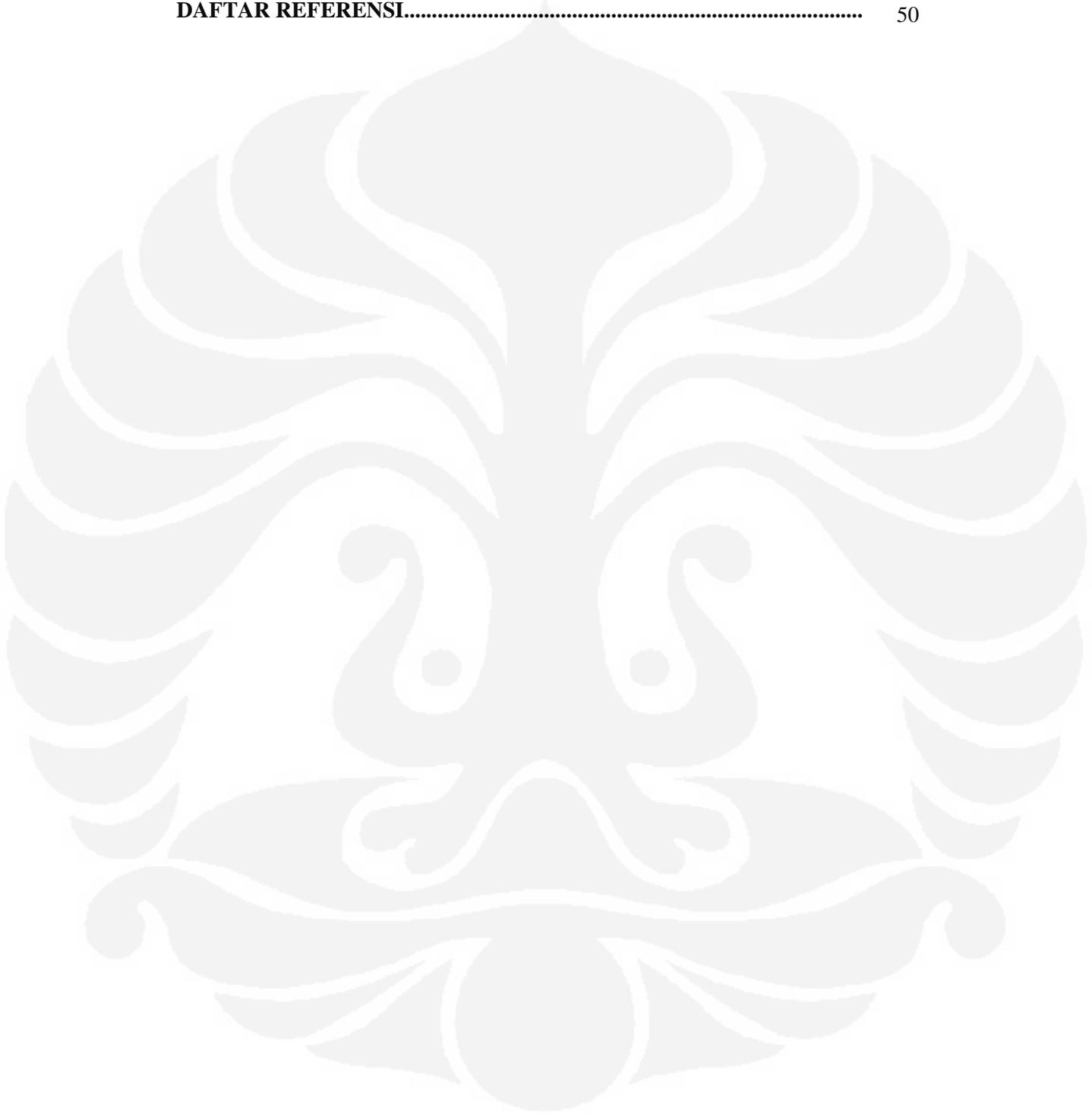
In an era where wireless technology developing so rapidly, especially in the field of telecommunications and high speed data transmission. Seeing the technology development is then carried out to deliver voltage design also uses wireless technology. The method used in the Wireless Power Transmission systems are magnetic resonance induction. Where, high-frequency voltage emitted by the transmitter and the voltage emitted by the principle of resonance can be received by the receiver in frequency voltage equal to the transmitter. In this research, to produce a voltage-frequency oscillator is used Royer oscillator.

Keywords : wireless, magnetic resonance induction , royer oscilator.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SINGKATAN	xiii
DAFTAR ISTILAH.....	xiv
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penulisan	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Metodologi Penelitian	4
1.5 Sistematika Penulisan	4
2. DASAR TEORI	6
2.1 Sejarah Pengiriman Daya Listrik Tanpa Kabel.....	6
2.1.1 Pada Abad 19.....	6
2.1.2 Pada Abad 21.....	8
2.2 Prinsip Induksi Elektromagnetik.....	9
2.2.1 Penyebab terjadinya GGL induksi.....	9
2.2.2 Faktor besarnya GGL.....	12
2.2.3 Hukum Lenz.....	14
2.2.4 Induktansi Diri.....	15
2.2.5 Induktansi Bersama.....	16
2.3 Prinsip Pengiriman Energi Dengan Induksi Resonansi Magnet.....	17
2.3.1 Resonansi secara fisika.....	17
2.3.2 Resonansi Elektromagnetik.....	20
2.3.3 Prinsip Resonansi.....	22
2.3.3.1 <i>Dynamic Resistance</i> dan Faktor Q.....	25
2.3.3.2 <i>Bandwidth</i> (3dB).....	26
2.4 Penggunaan Rangkaian <i>Tunning</i>	27
2.4.1 Single-tuned amplifier.....	27
2.4.2 Double-tuned amplifier.....	29
2.5 Prinsip <i>Couple Resonance</i>	30
3. PERANCANGAN.....	32
3.1 Sistem Secara Umum.....	32
3.2 Konsep Perancangan.....	33
3.2.1 Perancangan <i>Power Supply</i>	33
3.2.2 Perancangan <i>Transmitter</i>	35
3.2.3 Perancangan <i>Receiver</i>	37
3.3 Pengujian dan Proses Pengambilan data.....	39
3.3.1 Pengujian <i>Transmitter</i> Tanpa beban.....	39
3.3.2 Pengujian <i>Transmitter</i> dengan Beban.....	40
4. ANALISA DAN HASIL PERCOBAAN.....	41
4.1 Uji Coba dan Analisis <i>Transmitter</i>	41
4.1.1 Uji coba dan Analisa Sistem dengan Perubahan Frekuensi	

tanpa Beban.....	41
4.1.2 Uji coba dan Analisa Sistem dengan Perubahan Frekuensi dengan Beban.....	45
5. KESIMPULAN.....	49
DAFTAR REFERENSI.....	50



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Tesla Coil.....	1
Gambar 1.2.	Menara yang di gunakan tesla untuk mentransmit tegangan sejauh 26 mil.....	2
Gambar 1.3.	Perangkat elektronik yang menggunakan aplikasi wireless	2
Gambar 1.4.	Konsep pengembangan WPT.....	3
Gambar 2.1.	Percobaan kumparan tesla(<i>tesla coil</i>).....	7
Gambar 2.2.	Gaya Gerak Listrik timbul akibat perubahan garis gaya magnet percobaan faraday.....	11
Gambar 2.3.	Flux magnet.....	12
Gambar 2.4.	Arah GGL induksi.....	14
Gambar 2.5.	Kaidah tangan kanan.....	14
Gambar 2.6.	Induktansi diri.....	15
Gambar 2.7.	Induktansi bersama.....	17
Gambar 2.8.	Resonansi dengan garpu tala.....	18
Gambar 2.9.	Percobaan resonansi dengan tabung bejana.....	19
Gambar 2.10.	Gelombang elektromagnetik	20
Gambar 2.11.	Rangkaian resonansi	22
Gambar 2.12.	Rangkaian resonansi paralel dengan komponen resistif..	22
Gambar 2.13.	Rangkaian resonansi paralel tanpa komponen resistif ...	24
Gambar 2.14.	Karakteristik impedansi dengan frekuensi pada rangkaian <i>tuning</i> seri.....	26
Gambar 2.15.	Rangkaian <i>Single-tuned</i>	27
Gambar 2.16.	Rangkaian <i>single-tuned wideband amplifier</i>	28
Gambar 2.17.	Rangkaian <i>Double-tuned amplifier</i>	29

Gambar 2.18.	Kurva respon frekuensi <i>Double-tuned amplifier</i> dengan perbedaan koefisien kopling	30
Gambar 2.19.	Diagram rangkaian WPT dengan <i>Couple resonance</i>	31
Gambar 3.1.	<i>Design</i> dari sistem	32
Gambar 3.13.	Rangkaian ekuivalen dari sistem.....	33
Gambar 4.1.	Sistem transmisi daya nirkabel (WPT).....	33
Gambar 4.2.	Rangkaian <i>power supply</i>	34
Gambar 4.3.	Rangkaian <i>assembly power supply</i>	35
Gambar 4.4.	Rangkaian <i>royer oscillator</i>	36
Gambar 4.5.	<i>Transmitter</i> dengan kawat tembaga 2 gulungan.....	37
Gambar 4.6.	<i>Transmitter</i> dengan <i>copper tube</i>	37
Gambar 4.7.	Rangkaian <i>Receiver</i>	38
Gambar 4.8.	Bentuk sederhana <i>receiver</i>	38
Gambar 4.9.	Bentuk sederhana <i>receiver</i> dengan <i>copper tube</i>	39
Gambar 4.10.	Rangkaian percobaan untuk pengukuran tanpa beban.....	40
Gambar 4.1.	Rangkaian percobaan untuk pengukuran dengan beban...	40
Gambar 4.2.	Pengukuran pada <i>oscilloscope</i> pada kapasitor ke-7	44
Gambar 4.3.	Gambar percobaan dengan beban.....	47
Gambar 4.4.	Pengukuran pada <i>oscilloscope</i> pada kapasitor ke-9.....	48

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Data percobaan tanpa beban.....	42
Tabel 4.2.	Perbandingan perhitungan dengan percobaan tanpa beban....	44
Tabel 4.3.	Data percobaan dengan beban.....	46
Tabel 4.4.	Perbandingan perhitungan dengan percobaan dengan beban..	47

DAFTAR SINGKATAN

WPT	<i>Wireless Power Transmission</i>
DC	<i>Direct Current</i>
AC	<i>Alternating Current</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>
IF	<i>Intermediate Frequency</i>
GGL	Gaya Gerak Listrik
rms	<i>Root Mean Square</i>
BPF	<i>Band Pass Filter</i>
MOSFET's	<i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor's</i>

DAFTAR ISTILAH

Osilasi. Gelombang yang berfrekuensi

Osilator. Penghasil gelombang berfrekuensi

Resonansi. Keadaan pada sistem yang dapat berfrekuensi akibat pengaruh frekuensi dari benda atau sistem yang lain

Amplifier. Merupakan sebuah metode penguat tegangan

Tunning. Keadaan yang terjadi pada saat sebuah sistem transmisi Tx dan Rx dapat tertransmisi dengan baik. Dapat juga dikatakan, keadaan dimana sistem resonan telah *matching*.

Bandwidth. Lebar pita frekuensi yang merupakan daerah efektif dari sistem

Transmitter (Tx). Sistem pemancar pada sistem nirkabel

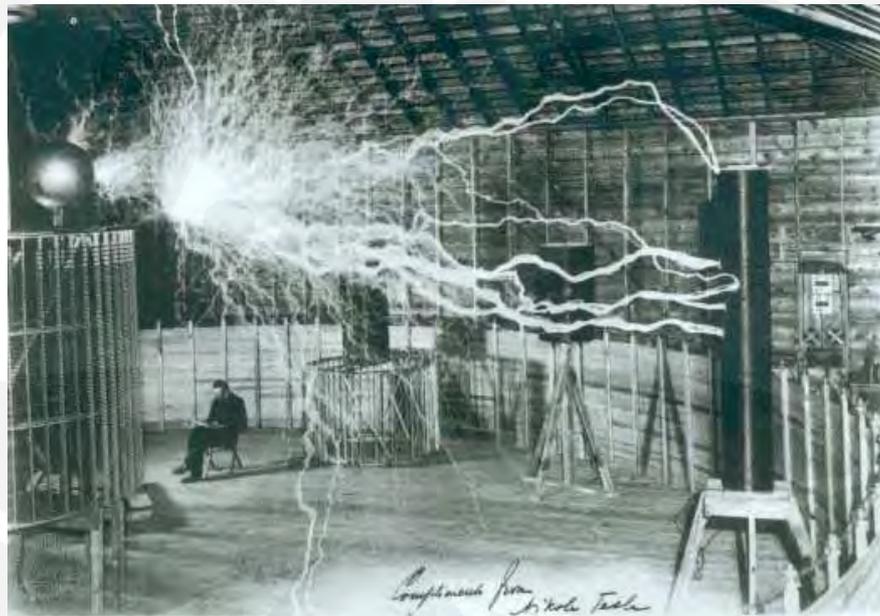
Receiver (Rx). Sistem penerima pada sistem nirkabel

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada akhir abad ke 18, seorang ilmuwan yang bernama Nikola Tesla memiliki pemikiran tentang bagaimana mentransmisikan tegangan dengan media udara atau dengan kata lain tanpa perantara kabel (*wireless*). Dari percobaan yang dilakukan tersebut dihasilkan sebuah alat yang dinamakan atas dirinya sendiri, yaitu kumparan Tesla (*Tesla Coil*) gambar 1.1. Dengan Alat ini Nikola Tesla dapat menghasilkan tegangan yang sangat tinggi, arus yang kecil, frekuensi yang sangat tinggi dan berhasil mengirimkan daya listrik sebesar 1.000.000 volt tanpa melalui suatu kabel sejauh 26 mil untuk menyalakan kurang lebih 200 lampu dan 1 motor listrik.



Gambar 1.1. Tesla Coil ^[7]



Gambar 1.2. Menara yang di gunakan Tesla untuk mentranmit tegangan sejauh 26 mil ^[8]

Akan tetapi sangat disayangkan bahwa penemuan dan teknologi yang luar biasa ini harus dihentikan pada masa itu, karena efek samping dari tegangan tinggi yang ditransmisikan tersebut dapat merusak alat-alat elektronik yang berada di sekitarnya, serta lompatan listrik bertegangan tinggi yang dihasilkan dapat membahayakan umat manusia. Namun, inilah awal mula dari teknologi *wireless* yang dahulu dianggap tidak berguna namun di abad sekarang sangatlah bermanfaat.



Gambar 1.3. Perangkat elektronik yang menggunakan aplikasi wireless

Mulai abad 21, teknologi nirkabel ini digunakan untuk bidang telekomunikasi. Berkembangnya nirkabel ini juga tidak terlepas dari

penelitian ilmuwan bernama Heinrich Hertz, yang menitikberatkan transmisi energi yang kecil, pada frekuensi radio, dan sangat berguna bagi keperluan mentransmisi data dan komunikasi dari suatu tempat ke tempat lain tanpa melalui kabel. Penelitian Hertz juga merupakan pengembangan dari Nikola Tesla.

Dengan pesatnya perkembangan teknologi semikonduktor dan teknologi nirkabel, perangkat-perangkat elektronik yang dahulu tergolong statis karena bentuk fisiknya yang besar dan berat sehingga tidak memungkinkan untuk dibawa kemana-mana. Sekarang sudah menjadi perangkat yang ringan dan simple sehingga dapat dibawa kemana-mana. Sehingga, peralatan tersebut sekarang telah menjadi kebutuhan primer manusia di abad ini.

Oleh karena kebutuhan akan kemajuan teknologi inilah, maka penemuan Nikola Tesla yang dapat mentransmisi energi tanpa melalui kabel pada akhir abad 18 itu menjadi kajian yang sangat menarik untuk diteliti dan dimengerti kembali. Selain itu, dengan meningkatnya harga dari penghantar listrik sementara kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat tiap tahunnya. Maka, dengan adanya sistem penghantaran listrik tanpa kabel ini dapat mengurangi penggunaan kabel, terutama untuk penggunaan kabel pada peralatan yg digunakan sehari-hari seperti kabel *charge* untuk pengisian baterai pada telepon genggam, laptop, dan perangkat lainnya gambar 1.4.



Gambar 1.4. Konsep pengembangan WPT ^[6]

1.2. Tujuan Penelitian

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk merancang suatu alat yang dapat mentransmisikan daya listrik tanpa kabel berdasarkan prinsip induksi magnet resonansi. Alat ini terdiri dari pemancar (*Transmitter*) dan penerima (*receiver*). Pemancar (*Transmitter*) merupakan sebuah kumparan tembaga yang dialiri arus listrik berfrekuensi tinggi dan berfungsi sebagai resonator. Sedangkan, penerima (*receiver*) merupakan sebuah kumparan tembaga dengan dimensi yang tidak berbeda dari pemancar (*Transmitter*) yang berfungsi sebagai alat untuk menerima daya yang dikirimkan.

1.3. Batasan Masalah

Pada penulisan skripsi ini, hanya dibatasi pada perancangan dari *transmitter* yang merupakan fungsi utama dari proses *Wireless Power Transmission*. Pada skripsi ini bentuk dan jumlah lilitan serta variasi dari penguatan tegangan bukan jadi bagian yang dibahas pada tulisan ini. Namun, lebih kepada perancangan dan pembuatan osilator serta frekuensi yang digunakan sehingga terciptanya proses penghantaran tegangan rendah pada jarak kurang dari 1 meter sehingga dapat disebut sebagai *wireless*.

1.4. Metodologi Penulisan

Metode penulisan yang digunakan pada skripsi ini adalah studi kepustakaan, pembuatan alat dan pengamatan data-data hasil percobaan pengukuran yang dilakukan di Laboratorium Pengukuran Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia.

1.5. 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, dasar teori elektromagnetik, dan dasar

teori resonansi. Serta menjabarkan *trend* yang sedang berkembang terkait dengan penelitian pada *wireless power Transmission*.

Pada bab ketiga berisi tentang penjelasan mengenai konsep dan metodologi *design* sistem *wireless power Transmission* dan rancang bangun dari sistem transmitter.

Pada bab keempat berisi tentang data hasil pengujian dan analisa hasil yang didapat.

Pada bab kelima berisi kesimpulan yang didapat dari penelitian yang dilakukan.

BAB 2 DASAR TEORI

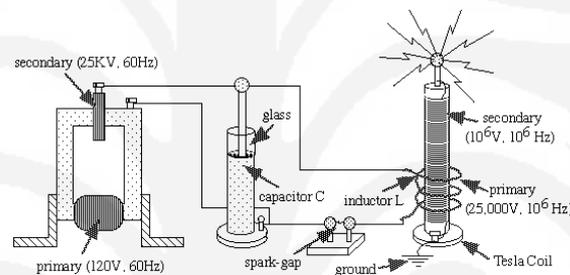
2.1 Sejarah Pengiriman Daya Listrik Tanpa Kabel

2.1.1 Pada abad 19 dan abad 20 ^[9]

Mentransmisikan sejumlah tenaga listrik yang besar merupakan aplikasi gelombang mikro yang sangat memungkinkan di masa depan namun masih belum terbukti dan populer sejauh ini. Pada tahun 1900, Nikola Tesla, penemu dan ilmuwan, mengusulkan penggunaan gelombang radio untuk mengirimkan daya untuk saluran listrik tegangan tinggi. Nikola Tesla lahir di Smiljan, sebuah desa di daerah pegunungan di Semenanjung Balkan yang dikenal sebagai Lika, yang pada saat itu merupakan bagian dari Perbatasan Militer negara Austria-Hongaria. Pada bukunya yang berjudul *Prodigal Genius-The Life of Nikola Tesla* yang di buat oleh JJ Oneill, diceritakan tentang proses pembuatan dan pengujian *wireless power-transmission* yang dilakukan Tesla dengan menyalakan ratusan lampu pijar pada jarak 26mil, lampu tersebut menyala dengan energi listrik bebas yang diambil dari bumi, dengan katalain tesla menyebut bahwa percobaanya ini merupakan sebuah terobosan untuk sebuah *free energy*. Namun, meskipun kelihatannya seperti sebuah prestasi, tapi karena tidak adanya dokumentasi dari Tesla sendiri maka hal tersebut hanyalah sebuah bualan belaka dan tidak ada yang bisa membuktikan serta melakukan percobaan sebagai pembuktiannya. Tesla hanya membuat catatan dia sendiri yang telah diterbitkan yang menyatakan bahwa demonstrasi tersebut benar-benar terjadi.

Pada 1899, Nikola Tesla melanjutkan percobaan transmisi daya nirkabel kembali di Colorado setelah dia mendapatkan sokongan dana sebesar \$30000, dengan dana tersebut tesla membangun pemancar untk penghantar tenaga listrik ke seluruh dunia(Gambar 1.2). Hasil dari penelitian dengan menggunakan peralatan seperti pada gambar 2.1 tersebut, dia mengatakan bahwa energi dapat dikumpulkan dari seluruh dunia baik

dalam jumlah kecil mulai dari satu fraksi hingga mencapai beberapa kekuatan kuda. Pada tahun 1930-an, para insinyur, dan ilmuwan menggunakan ide Tesla dalam sistem transmisi tenaga listrik melalui gelombang radio, tapi memiliki perbedaan yaitu bukan menggunakan frekuensi rendah. Mereka berpikir tentang penggunaan gelombang microwave. Namun, orang-orang yang tertarik pada penelitian ini harus bersabar sampai metode pembentukan gelombang microwave untuk penghantar daya yang besar terbentuk. Karena pada penelitian menggunakan microwave ini efisiensi sangat dipengaruhi daya yang diterima pada antena dan reflector. Oleh karena itu, harus menggunakan penghantar microwave dengan daya besar.



Gambar 2.1. Percobaan Kumparan Tesla (*Tesla Coil*)

Pada Perang Dunia II pengembangan transmisi microwave pada daya besar dilakukan dengan menggunakan sebuah *magnetron* dan *klystron*. Setelah Perang Dunia II besarnya daya pancar pada pemancar microwave menjadi cukup efisien, pengiriman yang dilakukan dapat untuk mengirim ribuan watt dengan jarak lebih dari satu mil. Sejarah pasca perang tentang penelitian transmisi daya pada ruang bebas tercatat dan didokumentasikan oleh William C. Brown. Dia merupakan seorang pelopor daya transmisi *microwave* praktis. William-lah yang pertama kali pada tahun 1964 berhasil menunjukkan sebuah helikopter bertenaga *microwave* yang menggunakan frekuensi 2,45GHz dalam rentang 2,4-2,5 GHz yang dibuat untuk keperluan gelombang radio pada Industri, Penelitian, dan Kesehatan.

Sebuah konversi daya perangkat dari *microwave* ke DC disebut *rectenna*. Telah diciptakan dan digunakan untuk pembangkit daya *microwave* untuk helikopter tersebut. Pada 1963, *rectenna* pertama

dibangun dan diuji di Perdue University dengan efisiensi 40% diperkirakan dan output daya dari 7 W. Pada tahun 1975 pada JPL Raytheon Goldstone efisiensi *microwave dc* yang dicapai sampai 84% dalam demonstrasi WPT.

Pada tahun 1968, Peter Glaser telah menghitung bahwa jika beberapa bagian besar dari *solar-power satellite* ditempatkan di orbit *geosynchronous*, maka energi yang mereka kumpulkan bisa membetuk sebuah jaringan yang utuh di permukaan bumi dengan menggunakan rangkaian antena yang di susun urut maka akan dapat mentransmisi sebuah daya pada jaringan hingga ribuan mil. Namun, Satelit ini harus berada di ruang tak berawan dan menerima sinar matahari setiap hari. Daya yang diterima dengan cara ini akan lebih dapat diandalkan dibandingkan sumber energi terbaru lainnya seperti generator bertenaga surya atau tenaga angin. Namun, pembentukan energi ini sangatlah mahal pada saat itu hingga gagasan tentang transmisi daya dengan gelombang mikro dari satelit cenderung hanya menjadi sebuah ide.

2.1.2. Pada abad 21 ^[10]

Pada abad ke-21, tepatnya pada tahun 2007 sekelompok ilmuwan dari MIT (*Massachusetts Institute of Technology*). Membuat sebuah sistem transmisi daya dengan menggunakan “*strongly coupled magnetic resonance*”. Percobaan di lakukan dengan menggunakan dua buah *coil* yang dihantarkan sebuah tegangan beresonansi sehingga tercipta sebuah medan elektromagnet yang cukup kuat. Dari percobaan ini tim MIT dapat mentransmisi daya yang cukup besar dengan kemampuan transmisi sekitar 60W dengan efisiensi sekitar 40% pada jarak 2 meter.

Percobaan dari MIT meskipun mengacu pada ide dari percobaan yang dilakukan oleh tesla namun memiliki perbedaan yang mendasar. Diantaranya penggunaan *coil* yang berfrekuensi tinggi lalu diterima dengan menggunakan prinsip resonansi tanpa memerlukan *grounding*. Sedangkan, pada percobaan tesla pada proses transmisi daya harus selalu terhubung dengan tanah (*grounding*).

2.2 Prinsip Induksi Elektromagnetik

Dalam eksperimen yang dilakukan oleh H.C Oersted, Biot-Savart dan Ampere menyatakan bahwa adanya gaya dan medan magnet pada kawat berarus. Dengan pernyataan ini maka dapat dipertanyakan sebuah pertanyaan dasar yaitu “apakah medan magnet dapat menghasilkan arus listrik?”.

Pada awal tahun 1830, Michael Faraday dan Joseph Henry melakukan sebuah percobaan untuk mencari tahu atas apa yang telah dilakukan oleh H.C. Oersted melalui eksperimen yang sangat sederhana. 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

Seorang ilmuwan dari Jerman yang bernama Michael Faraday (1791 – 1867) memiliki gagasan dapatkah medan magnet menghasilkan arus listrik? Gagasan ini didasarkan oleh adanya penemuan dari Oersted bahwa arus listrik dapat menghasilkan medan magnet. Karena termotivasi oleh gagasan tersebut kemudian pada tahun 1822, Faraday memulai melakukan percobaan-percobaan. Pada tahun 1831 Faraday berhasil membangkitkan arus listrik dengan menggunakan medan magnet.

Alat-alat yang digunakan Faraday dalam percobaannya adalah gulungan kawat atau kumparan yang ujung-ujungnya dihubungkan dengan galvanometer. Jarum galvanometer mula-mula pada posisi nol. Seperti yang sudah mengetahui, bahwa galvanometer adalah sebuah alat untuk menunjukkan ada atau tidaknya arus listrik di dalam rangkaian^[1].

Percobaan Faraday untuk menentukan arus listrik dengan menggunakan medan magnet, dilakukan antara lain seperti kegiatan di atas. Ketika kutub utara magnet batang digerakkan masuk ke dalam kumparan, jumlah garis gaya-gaya magnet yang terdapat didalam 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 magnet listrik dalam kumparan bertambah. Akibat medan magnet, hasil arus induksi bersifat mengurangi garis gaya magnet itu. Dengan demikian, ujung kumparan itu merupakan kutub utara sehingga arah arus induksi seperti yang ditunjukkan Gambar 2.2.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 magnet dalam kumparan berkurang. Akibatnya medan magnet hasil arus induksi bersifat menambah garis gaya magnet itu. Dengan demikian, ujung kumparan itu merupakan kutub selatan, sehingga arah arus induksi seperti yang ditunjukkan Gambar 2.2.b.

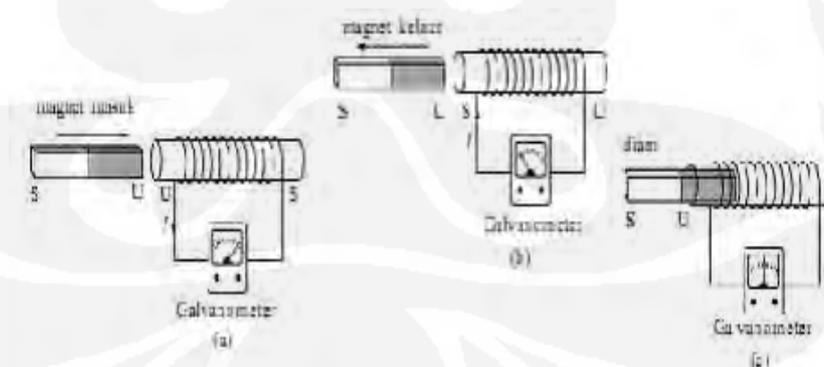
Ketika kutub utara magnet batang diam di dalam kumparan, jumlah garis garis gaya magnet di dalam kumparan tidak terjadi perubahan

(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. Dari hasil percobaan di atas maka dapat diambil kesimpulan bahwa arus induksi yang timbul dalam kumparan arahnya bolak-balik seperti yang ditunjukkan oleh penyimpangan jarum galvanometer yaitu ke kanan dan ke kiri.

Karena arus induksi selalu bolak-balik, maka disebut arus bolak-balik (AC = *Alternating Current*). Faraday menggunakan konsep garis gaya magnet untuk menjelaskan peristiwa di atas. Perhatikan Gambar

1. Magnet didekatkan pada kumparan maka gaya magnet yang melingkupi kumparan menjadi bertambah banyak, sehingga pada kedua ujung kumparan timbul gaya gerak listrik (GGL).
2. Magnet dijauhkan terhadap kumparan maka garis gaya magnet yang melingkupi kumparan menjadi berkurang, kedua ujung kumparan juga timbul GGL.
3. Magnet diam terhadap kumparan, jumlah garis gaya magnet yang melingkupi kumparan tetap, sehingga tidak ada GGL.

Kesimpulan percobaan di atas adalah: Timbulnya gaya listrik (GGL) pada kumparan hanya apabila terjadi perubahan jumlah garis-garis gaya magnet.



Gambar 2.2 Gaya gerak listrik timbul akibat perubahan garis gaya magnet percobaan Faraday

Gaya gerak listrik yang timbul akibat adanya perubahan jumlah garis-garis gaya magnet disebut GGL induksi, sedangkan arus yang mengalir dinamakan arus induksi dan peristiwanya disebut induksi elektromagnetik.

2.2.2 Faktor Besarnya GGL

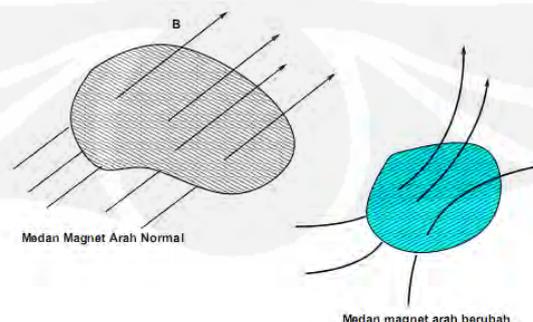
Ada beberapa faktor yang mempengaruhi besar GGL induksi yaitu:

1. Kecepatan perubahan medan magnet. Semakin cepat perubahan medan magnet, maka GGL induksi yang timbul semakin besar.
2. Banyaknya lilitan semakin banyak lilitannya, maka GGL induksi yang timbul juga semakin besar.
3. Kekuatan magnet, Semakin kuat gejala kemagnetannya, maka GGL induksi yang timbul juga semakin besar.

Untuk memperkuat gejala kemagnetan pada kumparan dapat dengan jalan memasukkan inti besi lunak. GGL induksi dapat ditimbulkan dengan cara lain yaitu:

1. Memutar magnet di dekat kumparan atau memutar kumparan di dekat magnet. Maka kedua ujung kumparan akan timbul GGL induksi.
2. Memutus-mutus atau mengubah-ubah arah arus searah pada kumparan primer yang di dekatnya terletak kumparan sekunder maka kedua ujung kumparan sekunder dapat timbul GGL induksi.
3. Mengalirkan arus AC pada kumparan primer, maka kumparan sekunder didekatkan dapat timbul GGL induksi. Arus induksi yang timbul adalah arus AC dan gaya gerak listrik induksi adalah GGL AC.

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



Gambar 2.3. *Fluks* Magnet ^[1]

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 :

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

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

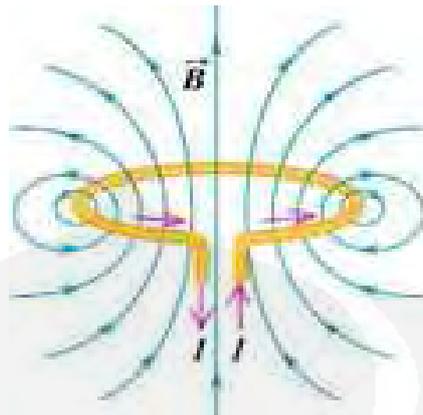
Masukkan persamaan (2.2) ke persamaan (2.6), maka :

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

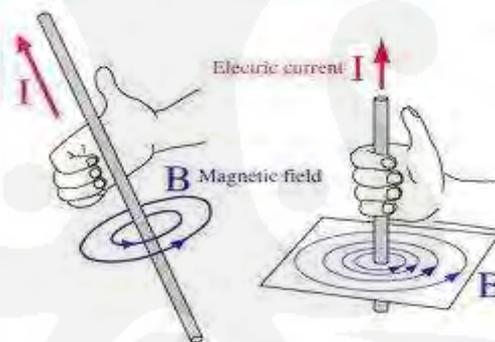
Makna fisis medan listrik diatas disebabkan oleh muatan statis sehingga medan akan bersifat konservatif yaitu intergal tertutup medan elektostatik disekeliling kurva tertutup sama dengan nol (persamaan 2.5). Sedangkan pada GGL induksi medan listrik tidak konserfatis yang berhubungan dengan keadaan *fluks*-nya.

2.2.3 Hukum Lenz

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 2.4. Arah GGL Induksi ^[2]

Dari gambar 2.4 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 2.5 di bawah ini.

Gambar 2.5 Kaidah Tangan Kanan ^[1]

2.2.4 Induktansi Diri

Induktansi merupakan besaran yang menyatakan besarnya *fluks* magnetik yang melalui suatu induktor atau lilitan pada arus tertentu dan dinotasikan dengan L , satuan $1H = 1Wb/A = 1Tm^2/A$.

Bila dilihat dari penjelasan tentang hukum Biot-Savart dan hukum Ampere, yang berhubungan dengan 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 :

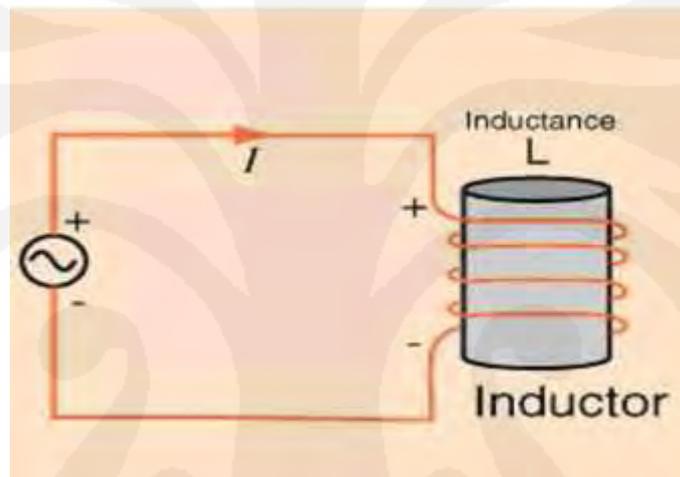
$$B = \left(\frac{\mu_0}{2\pi a} \right) I \quad (2.8)$$

- 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 2.6. Induktansi Diri ^[1]

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 Φ , maka *fluks* magnet juga sebanding dengan nilai I . Oleh karena itu, maka dapat diperoleh tetapan kesebandingan, yaitu :

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

Dimana L adalah tetapan kesebandingan antara Φ dan I yang dinamakan induktansi (diri) dari suatu sistem, sedangkan N merupakan jumlah lilitan maka :

$$N\Phi = (nl)(BA)$$

$$B = \mu_0 ni \quad \rightarrow \quad n = \frac{N}{l}$$

$$N\Phi = (nl)(BA) = nl(\mu_0 ni)A = \mu_0 n^2 Al \quad (2.12)$$

Sehingga nilai induktansi untuk selenoida adalah :

$$L = N \frac{\Phi_m}{i} = \mu_0 n^2 Al \quad (2.13)$$

Apabila arus dalam rangkaian berubah terhadap waktu maka *fluks* magnetik juga berubah maka timbul GGL induksi dalam rangkaian dan hubungan adalah :

$$\frac{d\Phi}{dt} = L \frac{d(Li)}{dt} = L \frac{di}{dt} \quad (2.14)$$

Karena pada hukum Faraday, perubahan *fluks* listrik dapat menimbulkan GGL, maka persamaan (2.7) dapat dinyatakan dengan :

$$\varepsilon = -L \frac{di}{dt} \quad (2.15)$$

2.2.5 Induktansi Bersama

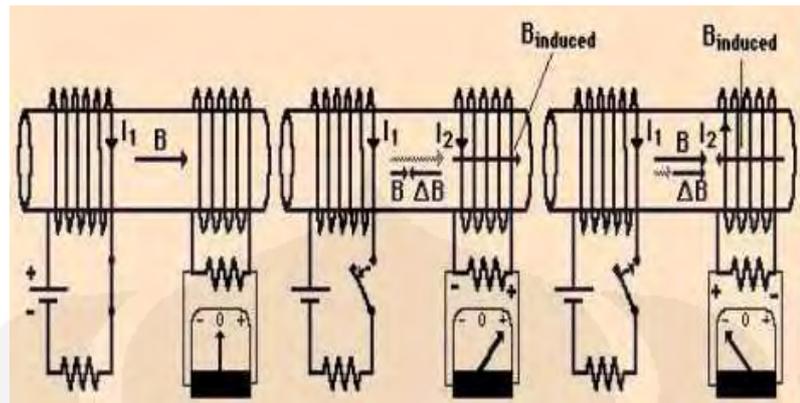
Pada gambar 2.7 arus i_1 pada kumparan 1, akan menghasilkan medan magnet yang *fluks* magnetnya akan mempengaruhi kumparan 2. Jika i_1 berubah, maka medan magnet pada kumparan 1 juga akan berubah, dan hal ini akan menyebabkan terjadinya GGL induksi pada kumparan 2. Ketika timbul GGL induksi pada kumparan 2, maka arus akan mengalir dikumparan 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 :

$$\varepsilon_2 = -M \frac{di_1}{dt} \quad (2.16)$$

$$\varepsilon_1 = -M \frac{di_2}{dt} \quad (2.17)$$

Dimana besarnya M (*Mutual Inductance*) adalah :

$$M = \frac{N_2 \Phi_{B2}}{i_1} = \frac{N_1 \Phi_{B1}}{i_2} \quad (2.18)$$

Gambar 2.7. Induktansi Bersama ^[1]

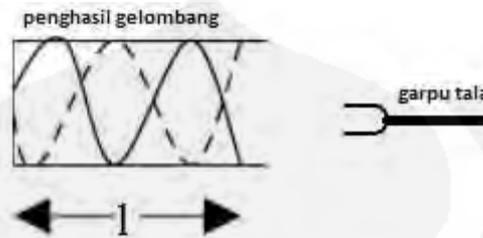
2.3. Prinsip Pengiriman Energi Dengan Induksi Resonansi Magnet ^[3]

2.3.1. Resonansi secara Fisika

Resonansi merupakan kejadian yang banyak terjadi pada sistem fisika. Resonansi dapat terjadi karena pengaruh frekuensi alami, namun untuk mendapatkan sebuah proses resonansi yang memiliki efisiensi energi yang baik maka sebaiknya ditambahkan sebuah sistem osilasi. Sebagai contoh sebuah sistem osilasi sederhana adalah ayunan yang didalamnya terlibat energi kinetik dan energi potensial. Ayunan akan bergerak bolak balik pada keadaan tertentu sesuai dengan panjang ayunannya, tinggi dan tidaknya ayunan tersebut tergantung dari koordinat lengan dan gerakan kaki anak yang bermain ayunan terhadap gerak ayunan. Sehingga ayunan tersebut dapat dikatakan beresilasi pada frekuensi resonansi dan gerakan sederhana dari anak yang menggunakan ayunan tersebut merupakan sebuah efisiensi energi yang ditransmisi kedalam sistem.

Resonansi juga dapat di katakan sebagai sebuah fenomena dimana sebuah sistem yang bergetar dengan amplitudo maksimum akibat adanya implus gaya yang berubah-ubah yang bekerja pada impuls tersebut. Kondisi seperti ini dapat terjadi bila frekuensi gaya yang bekerja tersebut berhimpit atau sama dengan frekuensi getar yang tidak diredamkan dari sistem tersebut. Dengan kata lain resonansi adalah peristiwa bergetarnya suatu benda akibat getaran benda lain. Jika kita melakukan sebuah percobaan tentang resonansi maka hal yang paling mudah diperhatikan

adalah resonansi pada garpu tala. Bila sebuah garpu tala di getarkan didekat satu kolom udara yang salah satu ujungnya tertutup sedangkan ujung lainnya terbuka maka resonansi akan terjadi. (lihat gambar 1)



Gambar 2.8 Resonansi dengan garpu tala

$$\text{Bila } \lambda = V/f, \text{ maka : } l = (2m + 1) / 4f \quad (2.19)$$

Dimana : l = panjang kolom udara

m = bilangan resonansi (0,1,2,3,.....)

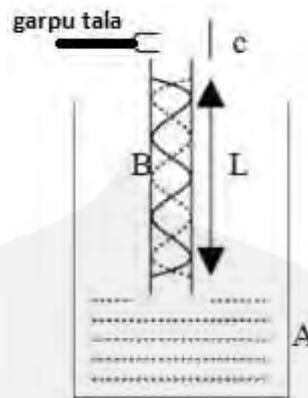
f = frekuensi garpu tala

λ = panjang gelombang

V = kecepatan suara di udara

Konsep resonansi yang terjadi antara garpu tala dengan kolom udara dapat dijadikan dasar untuk menentukan nilai kecepatan suara di udara secara cepat dan mudah dibandingkan dengan cara yang lainnya.

Pada gambar 2, diperlihatkan sebuah alat sederhana yang dapat digunakan untuk mengukur laju bunyi di udara dengan metode resonansi. Sebuah garpu tala yang bergetar dengan frekuensi (f) dipegang di dekat ujung yang terbuka dari sebuah tabung. Tabung itu sebagian diisi oleh air, lalu panjang kolom udara dapat diubah-ubah dengan mengubah tinggi permukaan air. Didapatkan bahwa intensitas bunyi adalah maksimum bila tinggi permukaan air lambat laun di rendahkan dari puncak tabung sejarak A . Setelah itu, intensitas mencapai lagi pada jarak d , $2d$, $3d$ dan seterusnya



Gambar 2.9 Percobaan resonansi dengan tabung bejana

Keterangan :

A : tabung bejana berisi air

B : Pipa baja kecil dengan kolom udara yang dapat berubah-ubah (d)

C : Jarak tabung dengan garpu tala

Intensitas bunyi mencapai maksimum bila kolom udara bersonansi dengan garpu tala tersebut. Kolom udara beraksi seperti sebuah tabung yang tertutup di salah satu ujung. Pada gelombang tegak lurus yang terdiri dari titik simpul di permukaan air dan sebuah titik perut di dekat ujung terbuka. Karena frekuensi dari sumber adalah tetap dan laju bunyi didalam kolom udara mempunyai sebuah nilai yang pasti, maka resonansi terjadi pada sebuah panjang gelombang spesifik.

$$\lambda = v/f \quad (2.20)$$

Jarak d diantara kedudukan kedudukan resonansi yang berturutan adalah jarak diantara titik titik simpul yang berdekatan. (lihat gambar 1)

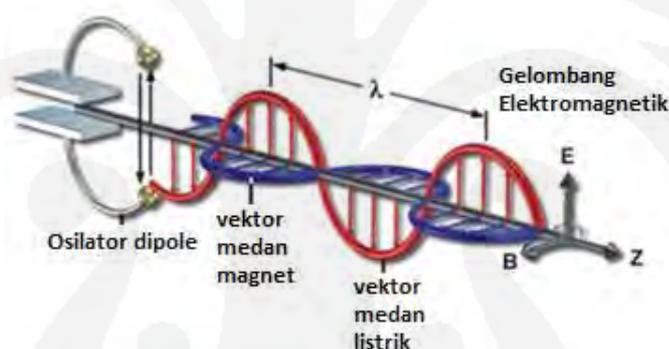
$$d = \lambda/2 \text{ atau } \lambda = 2d \quad (2.21)$$

Dengan menggabungkan persamaan tersebut maka akan di dapatkan :

$$2d = v/f \text{ atau } v = 2df \quad (2.22)$$

2.3.2. Resonansi Elektromagnetik

Resonansi elektromagnetik erat hubungannya dengan fenomena medan elektromagnet yang juga erat hubungannya dengan proses terjadinya aliran listrik. Radiasi dari medan elektromagnet pada tingkat tertentu dapat menjadi berbahaya bagi kelangsungan hidup organisme yang berada didalam jangkauannya. Medan elektromagnet dapat digolongkan dalam medan listrik dan medan magnet. Dan karena medan magnet jauh lebih aman bila dibandingkan dengan medan listrik, maka medan magnet menjadi pilihan yang paling tepat untuk digunakan sebagai media pengiriman energi jika dibandingkan dengan medan listrik dalam pemanfaatannya untuk perpindahan energi secara resonansi elektromagnet



Gambar 2.10 Gelombang Elektromagnet [2]

Dalam pembangkitan suatu medan elektromagnet, radiasi gelombang elektromagnet yang dihasilkan akan memuat sejumlah energi yang dipancarkan ke lingkungan. Energi ini akan terus terpancar, tidak bergantung pada ada atau tidaknya yang menangkap gelombang tersebut. Apabila terdapat suatu benda yang mampu menangkap radiasi elektromagnetnya, maka benda tersebut akan beresonansi dan akan menerima energi tersebut dan terjadilah perpindahan energi secara resonansi elektromagnetik.

Dari penjelasan diatas, maka kita dapat merancang sebuah alat resonator yang memiliki frekuensi tertentu yang kemudian akan berperan menjadi penghasil medan elektromagnet sebagai sumber energi pada

sistem. Lalu, sebuah alat yang berguna menangkap radiasi gelombang elektromagnetnya dimana alat tersebut juga memiliki frekuensi resonansi sendiri yang sama dengan sumber. Sehingga terjadi suatu hubungan resonansi secara elektromagnet. Energi yang diterima kemudian digunakan sebagai penyuplai beban setelah dikonversikan dengan rangkaian tambahan.

Secara umum, sistem resonansi elektromagnetik dengan resonansi frekuensi memiliki kesamaan, yaitu sama-sama memiliki nilai efektif dalam radius tertentu. Apabila di dalam radius efektif tersebut terdapat sumber medan elektromagnet atau penangkap gelombang elektromagnet lain yang memiliki frekuensi resonansi yang sama dengan sistem sebelumnya, maka mereka akan dapat bergabung dengan sistem resonansi elektromagnet yang telah ada dan akan membentuk hubungan resonansi elektromagnet yang lebih besar.

Dengan kata lain sistem ini tidak hanya terbatas pada sebuah sumber energi dan sebuah penangkap energi saja. Namun sistem ini dapat terdiri atas beberapa sumber energi dan beberapa penangkap energi selama mereka terdapat didalam radius efektif dari sistem elektromagnet dan memiliki frekuensi resonansi yang sama.

2.3.3. Prinsip Resonansi (*Tunning Circuit*)^[5]

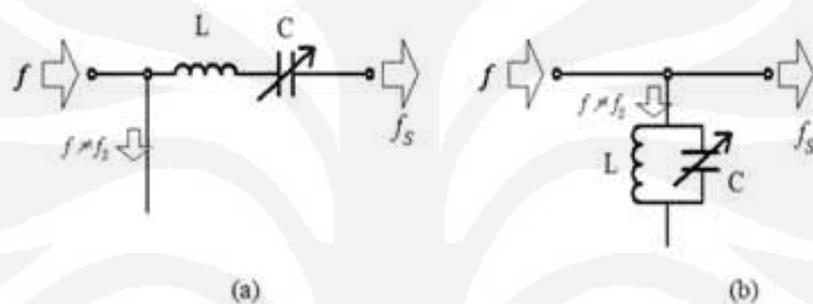
Nama lain rangkaian resonansi adalah rangkaian penala (*Tunning Circuit*), yaitu satu rangkaian yang berfungsi untuk menala sinyal dengan frekuensi tertentu dari satu band frekuensi.

Melakukan penalaan berarti rangkaian tersebut “beresonansi” dengan sinyal/frekuensi tersebut. Dalam keadaan tertala (beresonansi), signal bersangkutan dipilih untuk ke tahap selanjutnya bisa diterima untk dapat menghasilkan penghantaran tegangan atau di modulasikan sebagai media telekomunikasi. Rangkaian dapat digunakan misalnya :

- Antara sistem antena dan penguat RF (*Radio Frequency*) satu sistem penerima.

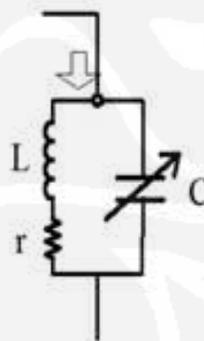
- Antara tahap tahap penguat RF (*Radio Frequency*), IF (*Intermediate Frequency*) pada sistem penerima superheterodyne, dsb.

Rangkaian penala pada dasarnya disusun dari sebuah kapasitor dan sebuah induktor, yang dapat tersambung seri maupun paralel seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11. Tetapi pada umumnya rangkaian penala yang digunakan berbentuk paralel. Dalam keadaan resonansi, impedansi ataupun admitansinya mempunyai bagian imajiner sama dengan nol.



Gambar 2.11. Rangkaian resonansi (a) seri ; (b) paralel

Karena selalu satu induktor mempunyai komponen resistif yang disebabkan oleh bahan logamnya (semisal tembaga), maka induktor tersebut mempunyai rangkaian ekuivalen seperti ditunjukkan pada Gambar 2.12, serta akan mempunyai nilai admitansi sebagai berikut :



Gambar 2.12. Rangkaian resonansi paralel dengan komponen resistif

Dalam pembahasan disini akan diuraikan adalah rangkaian resonansi bentuk paralelnya. Tetapi akan terbukti nanti, bahwa besar

frekuensi resonansinya akan sama dengan frekuensi resonansi bentuk serinya.

$$\begin{aligned}
 Y &= \frac{1}{r + j\omega L} + j\omega C \\
 &= \frac{r - j\omega L}{r^2 + \omega^2 L^2} + j\omega C \\
 &= \frac{r}{r^2 + \omega^2 L^2} + j \left(\omega C - \frac{\omega L}{r^2 + \omega^2 L^2} \right) \quad (2.23)
 \end{aligned}$$

Pada keadaan tertala(resonansi), admitansi persamaan (2.23) mempunyai bagian imajiner = 0, sehingga admitansi dalam keadaan resonansi menjadi :

$$\omega_{po} C = \frac{\omega_{po} L}{r^2 + \omega_{po}^2 L^2} \quad (2.24)$$

Dimana, $\omega_{po} = \omega$ pada keadaan resonansi rangkaian tunning paralel tersebut adalah $2\pi f_{po}$

Dari persamaan (2.24), akan tertentu nilai frekuensi resonansi paralel sebagai :

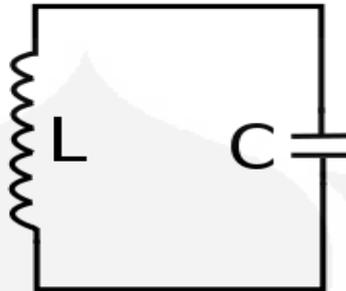
$$\omega_{po} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{r^2}{L^2}} \quad (2.25)$$

Terlihat pada persamaan (2.25), bahwa bila konduktor L mempunyai sifat resistif yang sangat kecil sehingga dapat diabaikan, $r \ll$, maka persamaan (2.25) menjadi :

$$\omega_{po} \approx \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (2.26)$$

yaitu sama dengan ω_{so} , ω untuk rangkaian tunning seri pada keadaan resonansi seperti dinyatakan pada persamaan (2.23). Oleh karena itu untuk selanjutnya, index p dihilangkan untuk penyederhanaan, karena telah terjadinya resonansi.

Sedangkan bila rangkaian resonansi memiliki bentuk yang seperti dibawah ini maka :



Gambar 2.13. Rangkaian resonansi paralel tanpa komponen resistif

Untuk menganalisa frekuensi yang dapat dihasilkan dari suatu rangkaian LC, kita dapat menganalogikan bahwa nilai reaktansi induktif sama dengan reaktansi kapasitif, sehingga dapat kita buat dalam persamaan sebagai berikut :

$$X_L = X_C$$

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$2\pi f^2L = \frac{1}{2\pi C}$$

$$f^2 = \frac{1}{2\pi 2\pi LC}$$

$$f = \frac{\sqrt{1}}{\sqrt{2\pi 2\pi LC}}$$

dapat disederhanakan menjadi:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.27)$$

2.3.3.1. DYNAMIC RESISTANCE DAN FAKTOR Q

Seperti disebutkan diatas, bahwa dalam keadaan resonansi, admitansi maupun impedansi satu rangkaian tuning menjadi riil atau bersifat resistif. Impedansi yang resistif tersebut dinamakan *dynamic resistance* yang besarnya dapat di turunkan sebagai berikut.

Dari persamaan (2.23) dan (2.24) tertentu,

$$Y_o = \frac{r}{r^2 + \omega_o^2 L^2} \quad (2.28)$$

dan $r^2 + \omega_o^2 L^2 = \frac{L}{C}$, maka $Y_o = \frac{C_r}{L}$, sehingga *dynamic resistance* (R_D) sama dengan $\frac{1}{Y_o}$ atau :

$$R_D = \frac{L}{C_r} \quad (2.29)$$

Satu parameter rangkaian tuning yang lain adalah faktor kualitas yang biasa di sebut dengan faktor Q. Faktor kualitas didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan pada induktor dan tegangan pada resistansi induktor tersebut, sehingga nilainya adalah :

$$Q = \frac{\omega L}{r} \quad (2.30)$$

Faktor kualitas ini akan menentukan sifat selektifitas rangkaian tuning yang akan di uraikan kemudian. Sedangkan *selektifitas* didefinisikan sebagai kemampuan untuk memisahkan satu frekuensi dari frekuensi yang lain dalam satu band frekuensi.

Dari persamaan (2-6), nilai *dynamic resistance* menjadi :

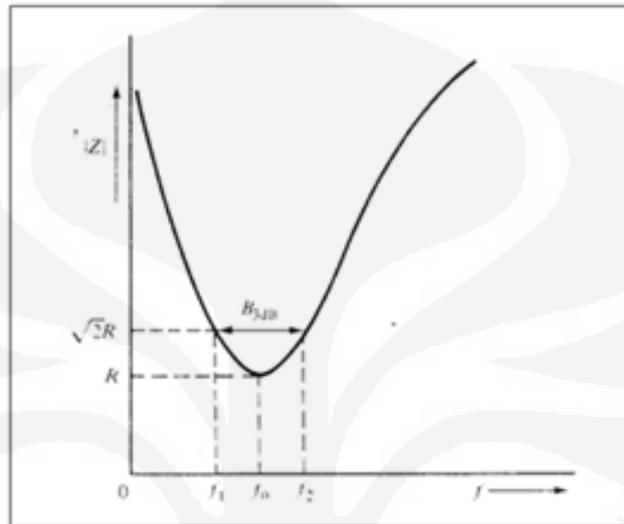
$$R_D = \frac{Q}{\omega_o C} \quad (2.31)$$

Kemudian, dengan syarat $r \ll \omega_o L$, yaitu nilai resistif kumparan, maka persamaan (2-2) memberikan hubungan $\omega_o L = \frac{1}{\omega_o C}$, sehingga rumus untuk *dynamic resistance* menjadi :

$$R_D = Q^2 r \quad (2.32)$$

2.3.3.2. BANDWIDTH (3dB)

Secara umum, rangkaian tuning seri mempunyai kurva karakteristik impedansi sebagai berikut,



Gambar 2.14. karakteristik impedansi dengan frekuensi pada rangkaian tuning seri

Terlihat bahwa, pada frekuensi resonansi impedansi pada rangkaian tuning seri mencapai nilai minimumnya. Kemudian, di sekitar frekuensi tersebut ($=f_0$) terjadi peningkatan yang relatif simetris. *3dB bandwidth* di definisikan pada nilai $\sqrt{2}$ nilai minimum tersebut di kiri dan kanannya seperti ditunjukkan pada Gambar (2.14). Sebutan *3dB* untuk *bandwidth* itu muncul dari nilai $20\log\sqrt{2}$. Dari definisinya jelas, bahwa nilai *bandwidth* tertentu oleh selisih f_1 dan f_2 atau :

$$B = f_2 - f_1 \quad (2.33)$$

Yang dinyatakan dalam satuan frekuensi (Hz atau $\frac{c}{s}$). Berkaitan dengan faktor Q rangkaian tuning, besar nilai *bandwidth* dinyatakan oleh rumus :

$$B = \frac{f_0}{Q} \quad (2.34)$$

Terlihat bahwa pada persamaan (2-10), bahwa *bandwidth* berbanding terbalik dengan faktor kualitas Q. Semakin besar nilai Q, maka

semakin menyempit *bandwidth* rangkaian tuning. Lebar pita tersebut menentukan selektifitas rangkaian tuning. Selektifitas rangkaian tuning disini yaitu kemampuan rangkaian untuk menapis satu frekuensi (f_o) dan membuang seluruh pita frekuensi yang berada di sebelah kiri dan kanan frekuensi resonansi tersebut. Sehingga dapat dikatakan bahwa faktor Q menentukan selektifitas.

Dengan bentuk karakteristik demikian maka suatu rangkaian tuning dapat berfungsi sebagai satu *bandpass filter* (BPF).

2.4 Penggunaan Rangkaian *Tuning*

Dari cara tujuan pemasangan rangkaian tuning pada satu penguat, maka penguat dapat diklasifikasikan menjadi :

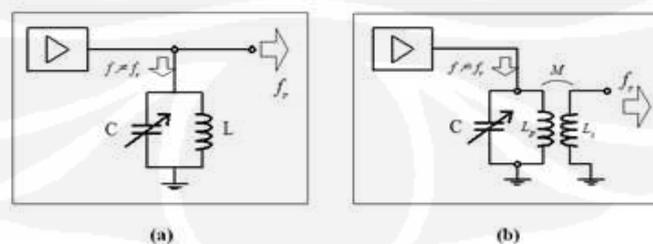
- *Single tuned amplifier*
- *Double tuned amplifier*

2.4.1 Single Tuned Amplifier

Bentuk penguat ini juga di bagi menjadi tiga macam, yaitu:

1. *Direct coupling*

Mempunyai rangkaian seperti pada Gambar 2.15(a). Sinyal yang diteruskan ke output adalah sinyal dengan frekuensi resonansi rangkaian tuning tersebut (f_r) yang besarnya ditunjukkan oleh persamaan (2.26). Sementara sinyal dengan frekuensi $f \neq f_r$, akan dibuang ke tanah (ground).



Gambar 2.15. rangkaian *single tuned*
(a) *Direct coupling*, (b) *inductive coupling*

2. Inductive coupling

Mempunyai rangkaian seperti ditunjukkan pada Gambar 2.15(b). Sinyal yang diteruskan ke output secara induktif ke kumparan sekunder adalah sinyal dengan frekuensi resonansi rangkaian *tuning* (f_r) yang besarnya ditunjukkan oleh persamaan (2.26). Sementara sinyal dengan frekuensi $f \neq f_r$ akan dibuang ke *ground*.

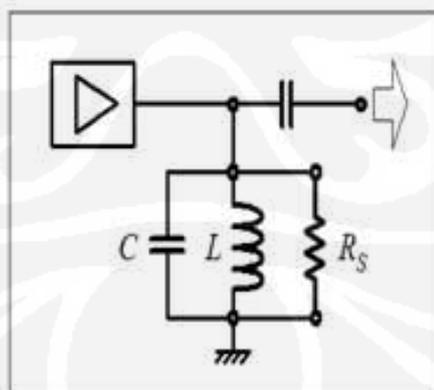
3. Wideband

Bandwidth satu *single-tuned* amplifier dapat dibuat lebih lebar dengan jalan menambah satu resistor paralel rangkaian *tuning* asalnya (seperti pada Gambar 2.16). Resistor atau tahanan tersebut dinamakan *swamping resistor* (R_s) yang akan memperkecil nilai faktor kualitas semula menjadi faktor kualitas efektif yang baru (Q_{eff}) sehingga *bandwidth* rangkaian *tuning* yang baru menjadi :

$$B = \frac{f_o}{Q_{eff}} \quad (2.35)$$

$$\text{dimana, } Q_{eff} = \frac{R_D''}{Q_L} \quad (2.36)$$

Sementara $R_D'' = R_D // R$. Rangkaian *tuning wideband* ditunjukkan pada gambar berikut ini :

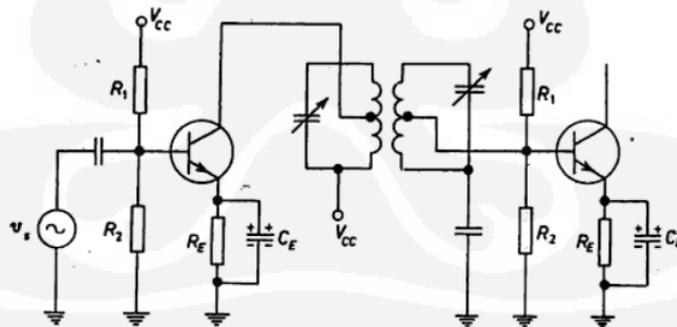


Gambar 2.16. rangkaian *single tuned wideband amplifier*

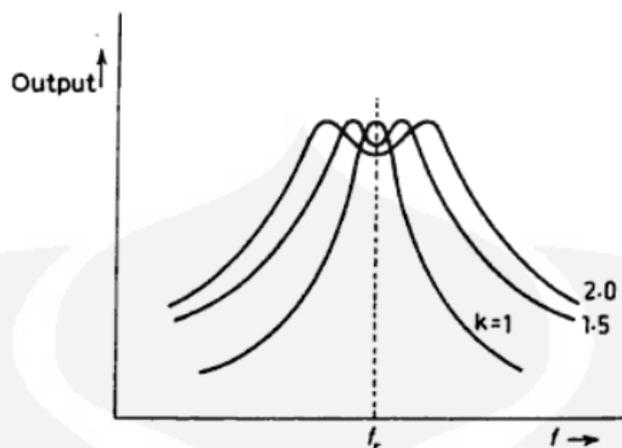
2.4.2 Double Tuned Amplifier

Pada rangkaian *double-tuned amplifier* digunakan *coupling* induktif. Pada bagian primer maupun sekunder dari sebuah trafo ditambahkan kapasitor sehingga dua rangkaian itu dapat menala. Diagram gambar rangkaian penguat tegangan *double-tune* dapat dilihat pada gambar-2.17. Pada rangkaian ini, transistor digunakan sebagai perangkat aktif, karena impedansi masukan untuk transistor rendah ini berakibat pada keterbatasan kerja amplifier tersebut. Untuk mengatasi permasalahan pada transistor tersebut maka digunakanlah *MOSFET's*. Rangkaian dengan menggunakan *pentode* masih sering digunakan sebagai katup pada *radio receiver*. Kurva respon frekuensi penguat *double-tuned* untuk koefisien yang berbeda pada kopling, di tunjukan pada gambar-2.18.

Dapat diamati bahwa dari kurva respon paling tepat pada saat salah satu koefisien kopling optimum ada di antara rangkaian *tuned*. Pada kondisi ini, rangkaian pada konsisi yang demikian sangat selektif dan memberikan keuntungan yang cukup pada kondisi band frekuensi tertentu.



Gambar.2.17.rangkaian *double-tuned amplifier*



Gambar.2.18 Kurva respon frekuensi *double tuned amplifier* dengan perbedaan koefisien kopling

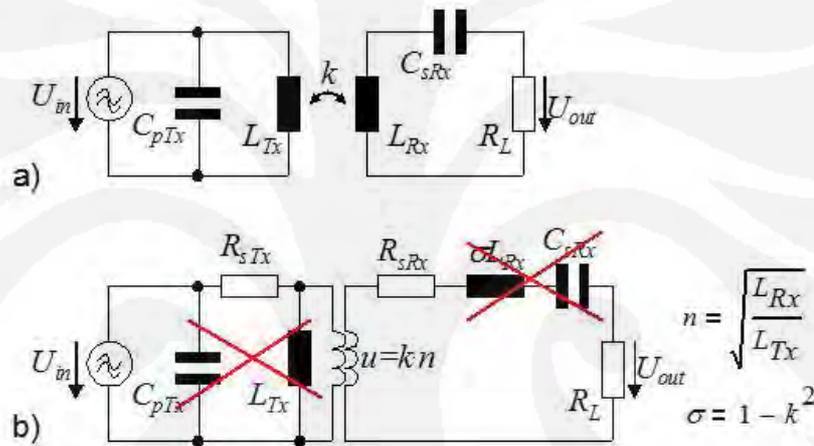
2.5 Prinsip *Couple Resonance*^[4]

Pada awal transmisi tenaga induktif rangkaian resonansi hanya digunakan untuk meningkatkan transmisi daya induktif. Setelah Nikola Tesla menggunakannya dalam eksperimen resonansi pertama tentang transmisi tenaga induktif yang telah dilakukan lebih dari seratus tahun yang lalu. Terutama untuk sistem dengan faktor kopling rendah penerima resonansi dapat digunakan untuk meningkatkan transmisi daya. Penggunaan untuk meningkatkan daya transmisi tidak hanya khusus pada transmisi tenaga resonansi, namun banyak digunakan pada metode transmisi listrik induktif dan dibatasi oleh kendala yang sama efisiensi dan emisi medan magnet.

Untuk memahami efek, dapat dibandingkan dengan resonansi mekanik yang ada. Pertimbangkan dengan menyesuaikan rangkaian *tuned* untuk kondisi tertentu sebagai resonator mekanik. Bahkan untuk tingkat suara jauh dan tingkat suara terendah dari generator dapat digunakan untuk menentukan *pitch* dari rangkaian *tuned* tersebut.

Resonator pada bagian penerima terdiri dari induktansi penerima (LR_x) dan kapasitor. Gambaran secara umum diilustrasikan pada Gambar 2.19a. Gulungan pemancar (LT_x) dan Gulungan penerima (LR_x) dapat dianggap sebagai *coupled* transformator yang lemah. Untuk itu, diagram rangkaian ekuivalen yang terdiri dari rangkaian induktif dan kapasitif dapat diturunkan

secara ekivalen, seperti pada gambar 2.19b. Dalam diagram rangkaian ini, gulungan(*coil*) merupakan salah satu dari hambatan(*resistansi*) yaitu hambatan induktif. Dari diagram juga menunjukkan dengan jelas bahwa kapasitor resonansi membatasi induktansi yang liar pada bagian penerima dan induktansi magnetik pada bagian transmitter. Dengan menghilangkan nilai kapasitor tersebut maka rangkaian yang tersisa untuk transmisi daya adalah resistansi induktif dari gulungan (*coil*) yang nilai impedansinya lebih kecil dibanding dengan nilai Dimana, impedansi adalah satu atau dua porsi besar lebih rendah daripada induktansi. Oleh karena itu, jika menambahkan generator sumber tertentu kekuatan transmisi akan lebih dapat diterima.



Gambar2.19. Diagram Rangkaian WPT dengan *couple resonance*^[4]

BAB 3 PERANCANGAN

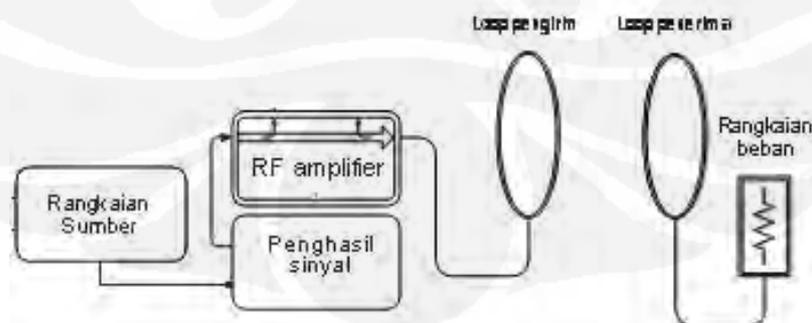
3.1 Sistem Secara Umum

Pada bab ini akan membahas mengenai perancangan dan realisasi dari pembuatan sistem penghantar daya tanpa kabel. Namun sebelumnya akan di jelaskan secara garis besar sistem yang akan dibahas.

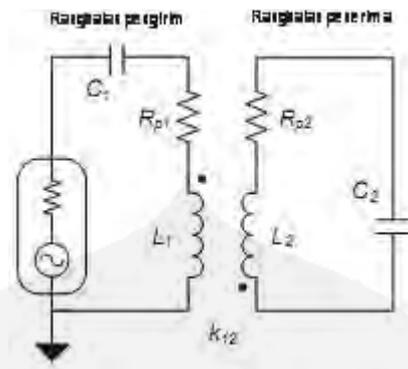
Wireless power transmission merupakan sebuah sistem yang mengaplikasikan metoda nirkabel untuk menghantarkan tegangan. Secara umum fungsi utama dari sebuah sistem *wireless power transmission* ini terdiri dari

- Rangkaian pengirim (*transmitter*)
- Rangkaian penerima (*receiver*)

Rangkaian pengirim merupakan rangkaian yang terdiri dari rangkaian penghasil sinyal dan rangkaian RF amplifier. Dengan gabungan dari dua rangkaian tersebut maka daya dari sumber dapat dikirimkan hingga bisa diterima dibagian penerima. Rangkaian penerima disini merupakan rangkaian yang dibuat berdasarkan prinsip resonansi yang memiliki kesamaan frekuensi yang dipengaruhi faktor komponen *LC*. Rangkaian *LC* pada penerima (*receiver*) dapat juga didekatkan / dihubungkan dengan rangkaian filter. Gambaran secara singkat dari sistem ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.1 *Design* dari sistem



Gambar 3.2 Rangkaian equivalent dari sistem



Gambar 3.3 Sistem transfer daya nirkable (WPT)

3.2. Perancangan

3.2.1 Konsep Perancangan

Konsep perancangan pada *Wireless Power Transmission* terdiri dari beberapa perencana :

1. Perancangan *Power supply*
2. Perancangan *Transmitter*
3. Perancangan *Receiver*

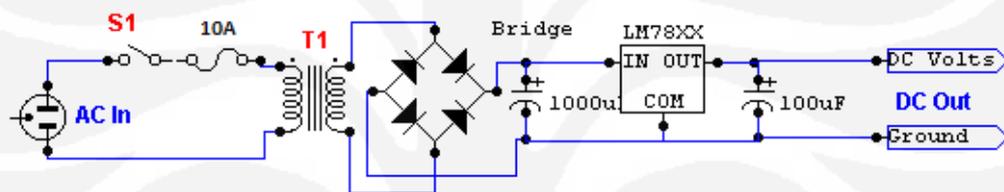
3.2.1.1 Perancangan *Power supply*

Perencanaan awal dalam membuat sistem *Wireless Power Transmission* adalah membuat rangkaian untuk *power supply* yang digunakan. Dikarenakan pada saat ini penelitian ini hanya ditujukan

untuk transmisi pada daya berkonsumsi kecil maka 12V (Vcc) dengan arus sebesar 5A menjadi pilihan yang cukup tepat.

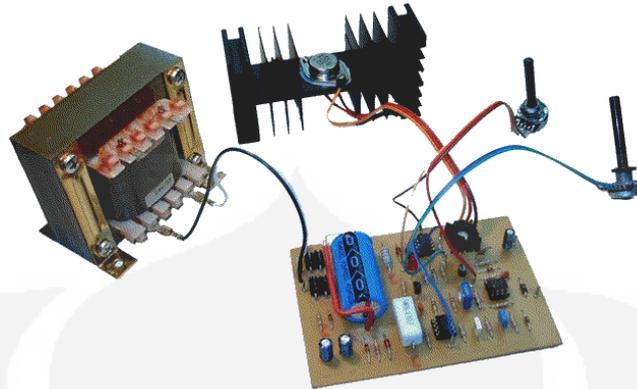
Dalam perancangan *power supply* dapat dibagi menjadi tiga bagian yang utama :

- Penurun tegangan AC (*alternating current*) dari jala-jala, dalam hal ini digunakanlah Trafo.
- Rangkaian penyearah penuh (*full bridge rectifier*)
- Rangkaian *regulator*, berguna sebagai menjaga apabila tegangan dari trafo berubah-ubah sehingga akan merubah stabilitas dari keluaran *supply* tersebut.



Gambar 3.4 rangkain dari *power supply*

Pada gambar di atas S1 berfungsi sebagai *switch* (saklar) untuk menghubungkan atau memutuskan hubungan pada sumber AC. Sedangkan *fuse* 10A berguna sebagai pengaman bila terjadi kenaikan yang berlebih. Selanjutnya T1 merupakan sebuah trafo. Dua pasang diode yang dirancang sedemikian rupa merupakan rangkaian penyearah penuh, untuk memperbaiki bentuk sinyal arus arah (*DC*) yang terbentuk, maka digunakanlah kapasitor berpolaritas yang dipasang secara paralel. LM78XX merupakan sebuah regulator yang seperti sudah dijelaskan, ini berguna untuk menjaga stabilitas dari tegangan yang keluar, sehingga perubahan dari tegangan dari jala-jala tidak mempengaruhi tegangan yang keluar.



Gambar 3.5 rangkaian *assembly power supply*

Pemilihan *power supply* yang memiliki *rating* tegangan seperti ini dikarenakan sistem ini diharapkan dapat diaplikasikan pada kehidupan sehari-hari terutama untuk pengisian baterai dan sebagai catu daya alat-alat elektronik. Selain itu, pemilihan sumber arus arah (*DC*) sebagai asupan untuk sistem dikarenakan dengan menggunakan sumber arus arah (*DC*) dapat dengan mudah mengatur pembentukan gelombang dan besar frekuensi osilasi yang digunakan.

3.2.1.2 Perancangan Transmitter

Perancangan *transmitter* (pemancar/pengirim) merupakan bagian yang paling penting dalam sistem ini, jika tidak ada rangkaian pemancar maka sebuah tegangan dari *supply* diatas tidak dapat ditransmisi/hantarkan tanpa menggunakan kabel.

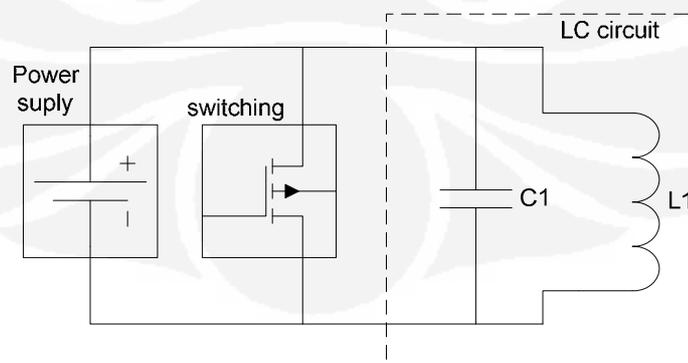
Pada sistem ini untuk memancarkan gelombang digunakanlah sebuah rangkaian osilasi yaitu rangkaian *royer oscillator*. Pemilihan rangkaian osilasi ini karena kebutuhan untuk penggunaan daya yang besar, serta dengan menggunakan rangkaian ini tidak membutuhkan rangkaian penguat *Radio Frequency* (*RF*). Berbeda halnya bila menggunakan osilator yang lain dimana osilator yang pada dasarnya memiliki daya yang kecil harus dihubungkan dengan rangkaian penguat lagi sehingga sistem penghantaran dapat terjadi. Namun terlepas dari itu semua masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan akan diterangkan pada bab berikutnya.

Bagian *LC* merupakan bagian terpenting dari *royer oscillator*. Perubahan yang dilakukan di *LC* membuat frekuensi berubah, hal ini yang menjadi percobaan. Sedangkan untuk *design LOOP* yang merupakan sebuah induktor namun tidak berupa lilitan tapi berupa selubung tembaga yang dibengkokkan sedemikian rupa.

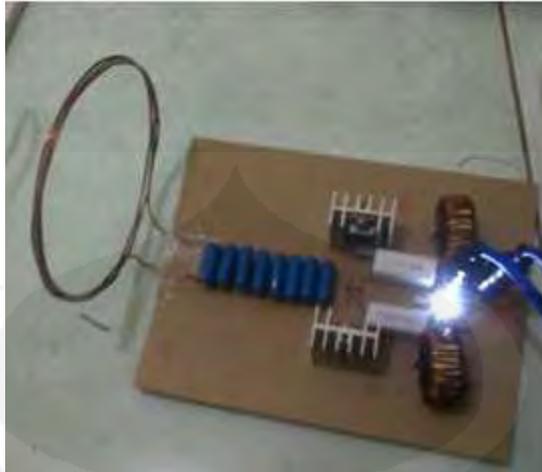
Tujuan menggunakan selubung agar mengurangi panas yang terjadi pada *loop* tanpa menggunakan selubung tembaga. Mengacu pada teori induksi bersama, maka dengan bentuk *loop* yang menggunakan selubung tembaga juga akan menghilangkan celah udara antar kawat (jika menggunakan lilitan kawat). Sehingga meminimalisasi adanya *losses*. Sebenarnya penggunaan kawat pejal juga dapat dipergunakan namun jika dibuat dengan diameter yang sama dan nilai induktasinya sama, maka menghasilkan diameter yang cukup kecil. Namun jika menggunakan kawat pejal tersebut akan terjadi panas yang berlebih dibandingkan dengan menggunakan selubung tembaga.

Dengan melakukan perubahan yang mengacu kepada pengamatan penulis dengan antenna televisi yang ada dimana, juga banyak menggunakan selubung selubung aluminium. *Loop* tembaga berselubung menjadi pemilihan yang baik untuk merancang *loop* pada pemancar (*transmitter*) dan penerima. Dimana dengan induktansi yang diinginkan akan didapatkan diameter yang lebih besar dan panas yang berkurang.

Berikut ini akan di tampilkan diagram dari rangkaian royer yang di gunakan.



Gambar 3.6 rangkaian *royer oscillator*



Gambar 3.7 *transmitter* dengan kawat tembaga 2 turn

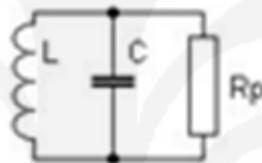


Gambar 3.8 *transmitter* dengan *copper tube*

3.2.1.3 Perancangan *Receiver*

Perancangan *receiver* (penerima) gelombang elektromagnetik dengan proses resonansi magnetik, rangkaian penerima hanya terdiri dari rangkaian *LC* saja yang akan terhubung ke beban. Rangkaian *LC*. Untuk mendapatkan penerimaan gelombang yang hampir sempurna, maka frekuensi resonansi sendiri pada rangkaian penerima kurang lebih sama dengan frekuensi resonansi pada rangkaian *transmitter*, ini berguna untuk

mendapatkan frekuensi resonansi bersama bisa terpenuhi. Jika, 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 diharapkan lebih baik jika dibandingkan dengan menggunakan konsep induksi tradisional seperti pada konsep yang dipakai pada trafo, tetapi mungkin tidak lebih baik jika dibandingkan dengan memakai kabel seperti biasa.



Gambar 3.9 Rangkaian *Receiver*



Gambar 3.10 Bentuk sederhana *Receiver*



Gambar 3.11 Bentuk *Receiver* menggunakan *copper tube*

3.3. Pengujian dan Proses Pengambilan Data

Percobaan yang dilakukan bertujuan untuk membuat sebuah transmitter yang paling optimum dengan memperhatikan perubahan yang terjadi pada frekuensi dari osilator. Perubahan ini dilakukan dengan mengubah nilai dari *LC*. Perubahan ini yang nantinya menjadi acuan untuk menentukan osilator dengan kinerja terbaik.

Pengujian yang dilakukan untuk memperoleh frekuensi yang di keluarkan dari osilator ada dua metode pengambilan yaitu :

- pengambilan data frekuensi tanpa *receiver* serta beban
- pengambilan data frekuensi dengan *receiver*

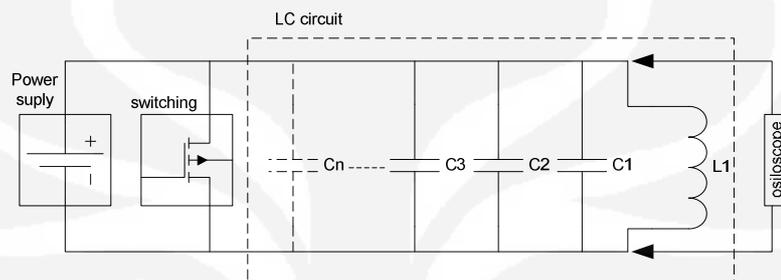
3.3.1. Pengujian transmitter tanpa beban

Seperti yang telah dibahas di *point* sebelumnya bahwa pada sistem utama *WPT* adalah *transmitter*. *Transmitter* ini merupakan sebuah rangkaian yang beroperasi pada frekuensi tertentu dan karena memiliki daya yang disesuaikan maka penghantaran nirkabel dapat terjadi.

Pengujian ini merupakan sebuah pengujian yang berguna untuk mengetahui frekuensi yang dihasilkan oleh rangkaian ini. Percobaan yang

di lakukan adalah dengan mengubah-ubah jumlah kapasitor yang digunakan pada rangkaian LC . Dengan perubahan ini sesuai dengan persamaan di bab sebelumnya maka diharapkan akan terjadi perubahan pada frekuensi pada sistem ini. Selain frekuensi tegangan juga perlu di perhatikan apa berpengaruh juga terhadap perubahan yang dilakukan.

Dibawah ini merupakan rangkaian percobaan dari sistem pengirim (*transmitter*) yang akan diukur dengan menggunakan sebuah oscilloscope.

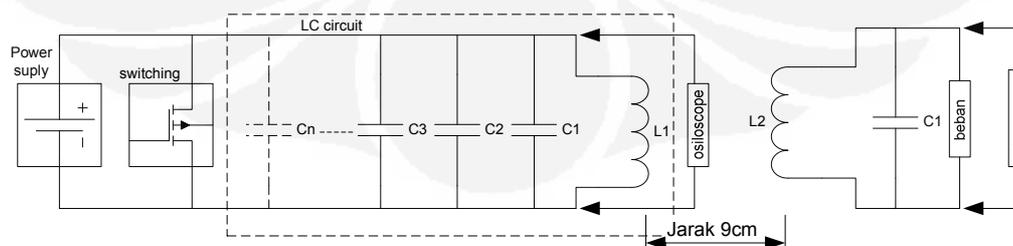


Gambar 3.12 Rangkaian percobaan untuk pengukuran tanpa beban

3.3.2. Pengujian *transmitter* dengan beban

Setelah mengetahui frekuensi yang dihasilkan oleh rangkaian osilasi diatas. Selanjutnya, pengujian yang dilakukan adalah pengujian dengan memberikan penerima (*receiver*). Percobaan dilakukan dengan jarak yang tetap dan *design* penerima yang tidak berubah-ubah, lalu yang dilihat apakah terjadi perubahan frekuensi pada *transmitter* tanpa penerima dibanding dengan menggunakan penerima.

Selain frekuensi yang perlu diamati adalah tegangan yang dipancarkan dan tegangan yang diterima dengan jarak yang tetap dan *design* penerima yang tidak berubah-ubah. Yang berubah hanya pada rangkain LC dari transmit saja.



Gambar 3.13 Rangkaian percobaan untuk pengukuran dengan beban

BAB 4

ANALISA HASIL PERCOBAAN

Pada bab sebelumnya telah disinggung tentang metode yang dilakukan untuk percobaan yang dilakukan pada sistem *wireless power transmission (WPT)*. Pada percobaan ini hanya dipusatkan pada pengujian atas *transmitter* (pengirim) saja, sedangkan untuk pengujian pada penerima tidak dibahas pada tulisan ini. Namun, pada pengujian juga tetap menggunakan sisi penerima namun kapasitasnya hanya sebagai data pendukung yang menandakan bahwa sistem *WPT* bekerja dengan baik.

4.1 Uji Coba dan Analisis *Transmitter*

Dalam pengujian *transmitter* terdapat dua jenis pengujian untuk melihat *trend* yang terjadi pada sistem tersebut. Pengujian ini bertujuan untuk melihat frekuensi yang dihasilkan dari *transmitter* yang telah dibuat hingga mendapatkan nilai yang kiranya dianggap optimal baik dari sisi biaya maupun hasil yang diinginkan, pengujian itu terdiri dari :

- Pengujian frekuensi *transmitter* tanpa beban
- Pengujian frekuensi *transmitter* dengan beban

4.1.1 Uji Coba dan analisa sistem dengan perubahan frekuensi tanpa beban

Prosedur yang dilakukan percobaan pertama pada *transmitter* dimana pengukuran hanya dilakukan pada bagian *transmitter* dan tanpa beban adalah:

1. Mempersiapkan *power supply*, alat ukur dan alat alat yang mungkin berguna pada pengukuran,
2. Harapan yang didapat adalah frekuensi dari *transmit* maka yang dilakukan seperti yang telah di bahas sebelumnya adalah mengubah dan mengganti jumlah kapasitor di *LC*. (lihat gambar 3.12),
3. Pastikan semua alat ukur telah terkalibrasi dengan baik dan gunakan *probe* yang minim *distorsi* dan usahakan gunakan *oscilloscope*

digital sehingga frekuensi, tegangan *peak to peak* serta tegangan *RMS* yang terukur langsung terlihat dan lebih presisi,

4. Pastikan juga tegangan jala-jala yang di gunakan tidak *drop* karena akan mengganggu stabilitas dari *transmitter*.

Setelah persiapan telah dilakukan dengan baik maka lakukan pengukuran dengan menggunakan *Oscilloscope* yang telah terkalibrasi. Untuk percobaan pertama ini dilakukan dengan mengubah-ubah jumlah *capasitor* lalu amati apa yang terjadi pada *Oscilloscope* tersebut. Karena konsentrasi percobaan pertama ini hanya mengamati perubahan perubahan yang terjadi pada *transmitter* maka data yang di perlukan hanyalah frekuensi, tegangan *peak to peak*, dan tegangan *RMS*.

Setelah dilakukan 10 kali perubahan kapasitor maka hasil yang didapat adalah seperti tabel 4.1 dibawah ini :

PERCOBAAN TANPA BEBAN			
<i>Transmitter</i>			
Kombinasi kapasitor (QTY)	frekuensi (MHz)	Vpp (Volt)	Vrms (Volt)
1	3.028	54.8	18.9
2	2.229	55.2	19.2
3	1.825	56.8	19.9
4	1.600	56.8	19.7
5	1.436	58.8	20.8
6	1.339	63.4	23.9
7	1.277	65.5	22.8
8	1.149	70.0	24.8
9	1.087	68.0	24.2
10	1.010	64.0	23.5

Tabel 4.1 Data percobaan tanpa beban

Dari data diatas pada jumlah kapasitor 1 buah dengan 10 buah terjadi perubahan yang signifikan baik dari frekuensi maupun dari tegangan, baik tegangan *peak to peak* maupun tegangan *RMS*. Dengan adanya kenaikan jumlah kapasitor maka perbandingan dengan frekuensi akan berbanding terbalik dan sebanding lurus dengan kenaikan tegangan pada sistem.

Dari data diatas belum bisa mereperesentasikan mana nilai yang terbaik dari transmitnya, namun bila tegangan yang menjadi patokan untuk

transmisi maka bisa dipastikan semakin besar kapasitor (sekitar 8-9 cap) akan semakin bagus karena nilai tegangan yang dihasilkan juga sangat besar. Namun hal lain yang perlu dilihat yaitu pada hukum kecepatan rambat dimana:

$$v = \lambda \times f \quad (4-1)$$

maka semakin kecil nilai frekuensi akan berpengaruh pada kecepatan rambat (jika kita asumsikan panjang gelombang selalu sama). Dengan lambatnya kecepatan rambat pada sistem maka akan mempengaruhi penghantaran daya. Oleh karena itu dari data diatas dapat diambil nilai rata-rata frekuensi yang terjadi, dengan demikian akan diperoleh berapa nilai yang masih *reasonable* untuk digunakan pada sistem ini. Hal ini akan dipermudah bila telah mendapatkan data dari percobaan ke dua.

Tabel hasilnya akan dibandingkan dengan perhitungan yang dilakukan sesuai teori yang ada pada bab 2 yaitu :

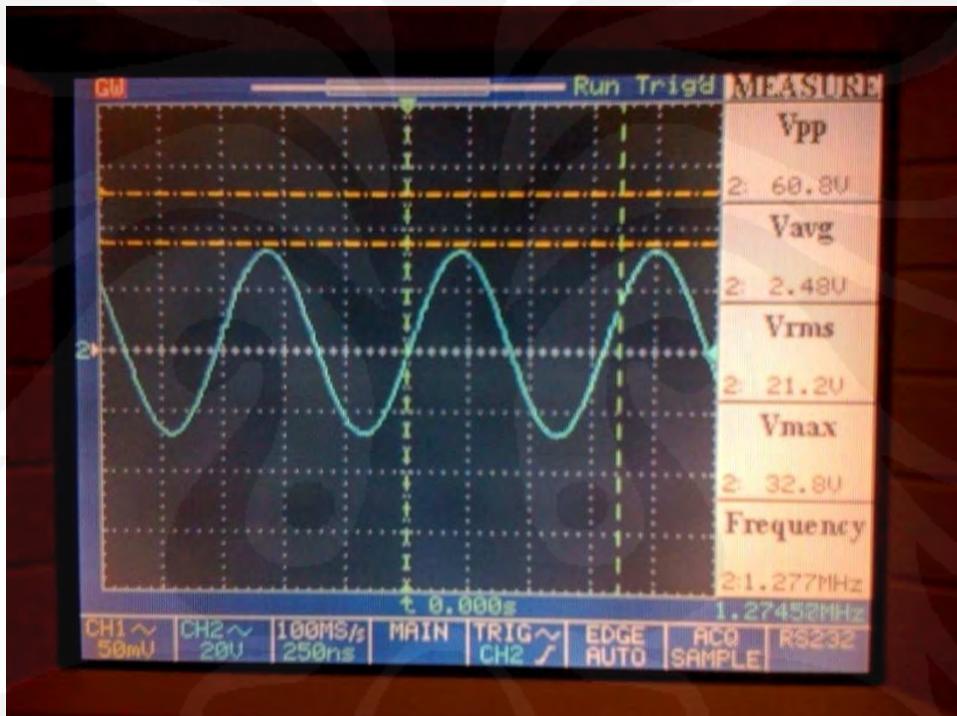
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4-2)$$

Nilai L disini adalah nilai dari pengukuran nilai induktif pada *loop*, yang telah dilakukan sebelumnya. Namun karena satu dan lain hal kami tidak bisa menampilkan nilai LC pada tulisan ini.

Setelah mendapatkan nilai perhitungan dari LC yang digunakan maka kita juga bisa mendapatkan nilai frekuensi ideal yang terjadi. Setelah mendapatkan semuanya dengan lengkap lalu akan mendapatkan data pembanding antara perhitungan dan percobaan lalu akan didapat nilai persentasi *error* dari sistem ini. Semakin kecil persen *error* maka sistem ini berjalan sesuai dengan yang semestinya.

PERCOBAAN TANPA BEBAN				PERHITUNGAN	
<i>Transmitter</i>					
Komposisikapasitor (QTY)	frekuensi (MHz)	Vpp (Volt)	Vrms (Volt)	frekuensi (MHz)	%error
1	3,028	54,8	18,9	3,262	7,18
2	2,229	55,2	19,2	2,307	3,37
3	1,825	56,8	19,9	1,884	3,11
4	1,600	56,8	19,7	1,631	1,91
5	1,436	58,8	20,8	1,459	1,57
6	1,320	63,4	23,9	1,332	0,89
7	1,277	60,8	21,2	1,233	3,56
8	1,149	70	24,8	1,153	0,38
9	1,087	68	24,2	1,087	0,04
10	1,031	64	23,5	1,032	0,06

Tabel 4.2 Perbandingan perhitungan dengan percobaan tanpa beban

Gambar 4.1 pengukuran di *Oscilloscope* pada kapasitor ke 7

Hasil data tabel 4.2 diatas merepresentasikan bahwa sistem yang dibuat telah sesuai dengan teori yang ada. Kesalahan-kesalahan yang terjadi pada sistem ini tidak terlalu signifikan karena jika dilihat dari persentasi *error* yang ada nilainya tidak lebih dari 10%, dengan nilai demikian dapat disimpulkan bahwa sistem telah berjalan hingga dapat membentuk gelombang resonansi yang diinginkan.

4.1.2 Uji Coba dan analisa sistem dengan perubahan frekuensi dengan beban

Pada pengujian yang kedua ini, dilakukan pengambilan data frekuensi yang sama seperti percobaan pertama, namun ditambahkan sebuah *receiver* dimana pada *receiver* tersebut diberikan sebuah beban yang berupa lampu pijar yang memiliki spesifikasi, 12 V/8W.

Sama seperti apa yang dilakukan pada percobaan pertama percobaan dilakukan dengan mengubah-ubah nilai kapasitor yang ada pada *transmitter* sehingga perubahan yang terjadi pada percobaan pertama juga akan sama terjadi pada percobaan kedua. Namun perbedaan antara percobaan pertama dan kedua adalah pada saat pengukuran disini terdapat rangkaian *receiver* sebagai pembuktian apakah memang sistem *WPT* berjalan.

Dengan adanya *receiver* pada percobaan kedua bukan berarti *receiver* menjadi tolak ukur untuk pembahasan dalam analisa ini. *Receiver* disini hanya sebagai pelengkap data dari proses analisa untuk mendapatkan nilai *transmit* yang terbaik. Sedangkan untuk pembahasan *receiver* akan dibahas pada penulisan yang lainnya.

Data yang terdapat di tabel 4.3, merupakan data yang di dapat dari percobaan yang dilakukan. Terlihat *trend* perubahan yang terjadi pada tabel 4.3 hampir sama dengan *trend* pada tabel 4.1. Dimana, dengan adanya kenaikan jumlah kapasitor maka akan terjadi penurunan pada frekuensi sehingga akan dikatakan berbanding terbalik dan sebaliknya terjadi kenaikan pada tegangan atau sebanding lurus dengan kenaikan tegangan pada sistem.

Namun, dengan adanya data tegangan yang diterima pada *receiver* maka hasil ini akan dapat membantu untuk menentukan mana jumlah kapasitor yang paling optimum untuk *transmitter*. Dari data nilai yang paling baik terjadi mulai pada kapasitor ke 6 dimana tegangan *RMS* yang terbaca di *Oscilloscope* sebesar 16,40 *Vrms* (dengan beban lampu 12V/8w) dan semakin baik di mana ketika jumlah kapasitor ke 7 dengan nilai tegangan *RMS* 21*Vrms*.

Dengan demikian pilihan kapasitor berada pada kapasitor ke 6 dan kapasitor ke 7. Namun, seperti yang telah dibahas pada percobaan sebelumnya frekuensi juga mengambil andil besar dalam pemilihan jumlah kapasitor. Dengan nilai frekuensi sebesar 1,33Mhz pada kapasitor ke 6 dan 1,156Mhz pada kapasitor ke 7 maka untuk mendapatkan kecepatan rambat yang baik baik kapasitor ke 6 merupakan komposisi *LC* yang paling optimal pada sistem ini.

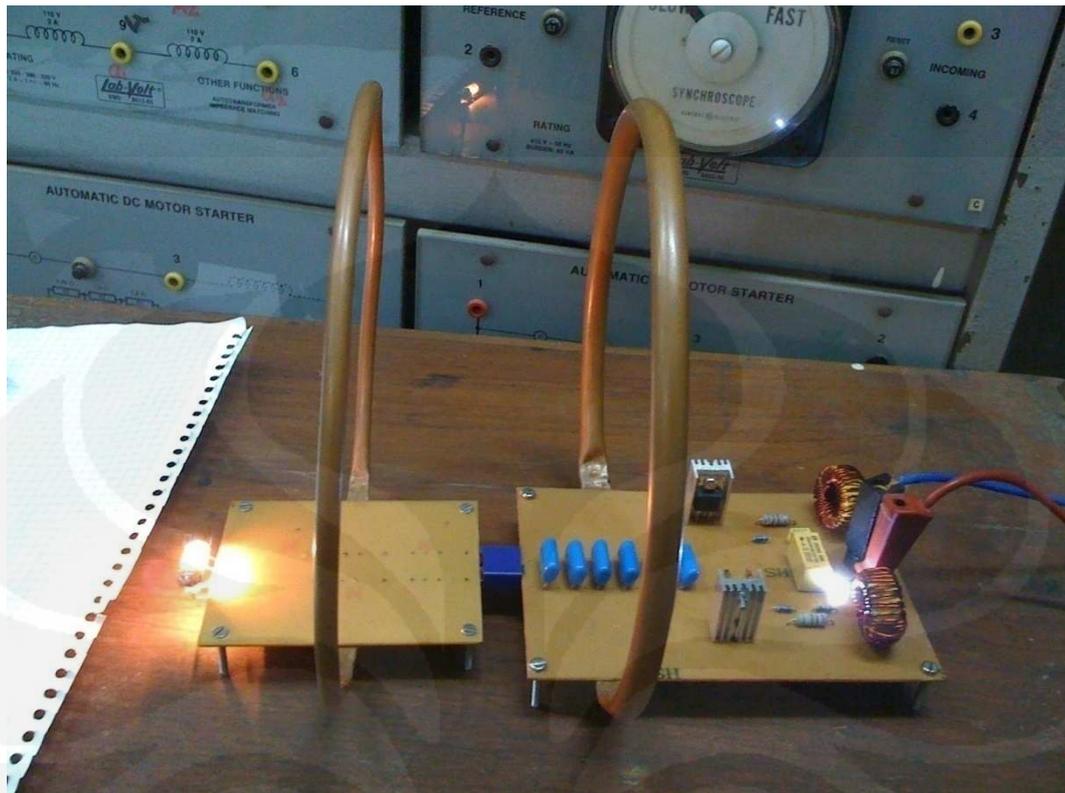
Dengan kecepatan rambat yang cukup, maka jarak antara *transmit* dan *receiver* yang dapat dicapai akan semakin jauh. Perubahan jarak yang terjadi pada sistem akan dibahas pada penelitian tentang *receiver* telah dilakukan bersama-sama, namun karena ini bukan merupakan kapasitas dalam tulisan ini tidak akan dijelaskan secara mendalam tentang *receiver* ini.

PERCOBAAN DENGAN BEBAN						
<i>Transmitter</i>				<i>Receiver</i>		
Komposisi kapasitor (Qty)	frekuensi (MHz)	Vpp (Volt)	Vrms (Volt)	Vpp (Volt)	Vrms (Volt)	Jarak (cm)
1	3,061	53,20	18,10	2,80	1,82	8,50
2	2,244	52,80	18,50	9,20	3,56	8,50
3	1,843	52,40	18,40	12,00	4,28	8,50
4	1,562	51,60	18,10	16,40	5,63	8,50
5	1,422	56,80	20,00	18,40	6,67	8,50
6	1,339	65,00	22,40	46,40	16,40	8,50
7	1,156	62,00	21,90	58,00	21,00	8,50
8	1,111	70,00	24,60	50,00	17,90	8,50
9	1,061	68,00	23,90	37,60	13,20	8,50
10	1,010	64,00	22,20	28,80	17,60	8,50

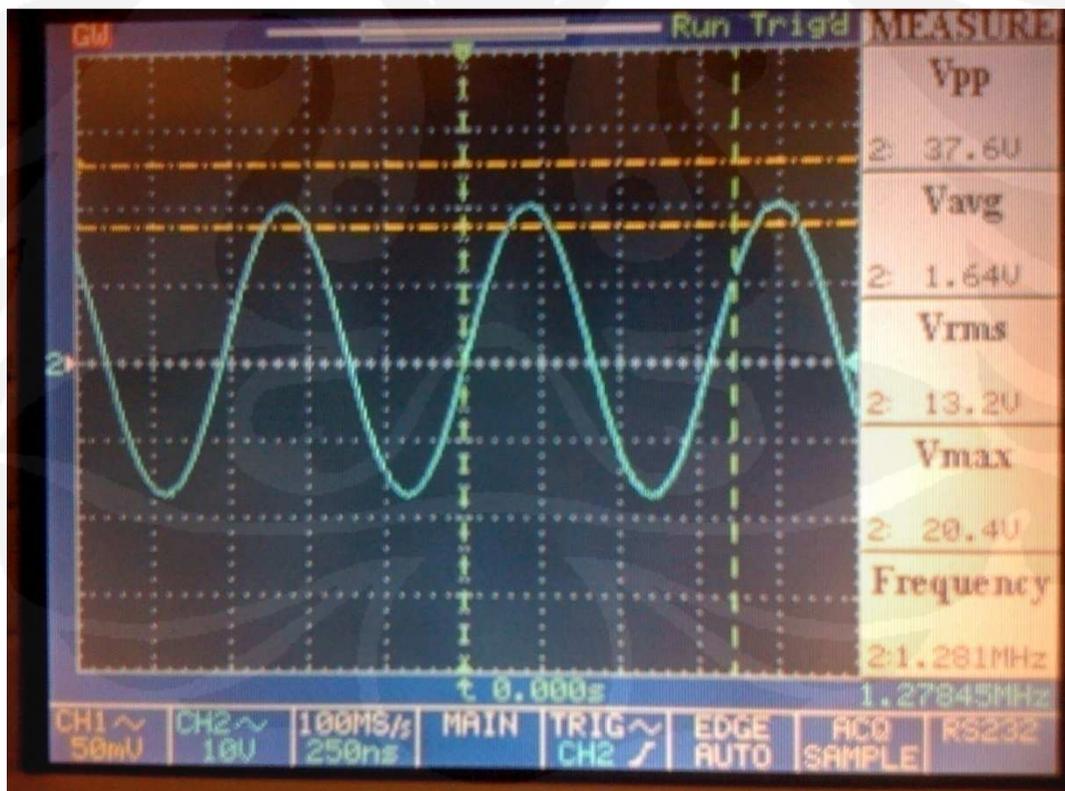
Tabel 4.3 Percobaan dengan menggunakan beban

PERCOBAAN DENGAN BEBAN							PERHITUNGAN	
<i>Transmitter</i>				<i>Receiver</i>				
Komposisi kapasitor (Qty)	frekuensi (MHz)	Vpp (Volt)	Vrms (Volt)	Vpp (Volt)	Vrms (Volt)	Jarak (cm)	frekuensi (MHz)	%error
1	3,061	53,20	18,10	2,80	1,82	8,50	3,262	6,17
2	2,244	52,80	18,50	9,20	3,56	8,50	2,307	2,72
3	1,843	52,40	18,40	12,00	4,28	8,50	1,884	2,15
4	1,562	51,60	18,10	16,40	5,63	8,50	1,631	4,24
5	1,422	56,80	20,00	18,40	6,67	8,50	1,459	2,53
6	1,339	65,00	22,40	46,40	16,40	8,50	1,332	0,54
7	1,156	62,00	21,90	58,00	21,00	8,50	1,233	6,25
8	1,111	70,00	24,60	50,00	17,90	8,50	1,153	3,68
9	1,061	68,00	23,90	37,60	13,20	8,50	1,087	2,43
10	1,010	64,00	22,20	28,80	17,60	8,50	1,032	2,10

Tabel 4.4 Perbandingan perhitungan dengan percobaan dengan beban



Gambar 4.2 Rangkain percobaan



Gambar 4.3 Pengukuran pada receiver di oscilloscope pada kapasitor ke 9

Tabel 4.4 merupakan tabel yang memperlihatkan persen *error* yang terjadi apa bila sebuah sistem terintergasi secara sempurna dimana didalamnya terdapat *transmitter* dan *receiver*. Dengan kesimpulan awal dari tabel sebelumnya dimana jumlah kapasitor yang digunakan adalah sebanyak 6 buah. Pada data diatas menyakinkan bahwa dengan menggunakan komposisi kapasitor ke 6 lah nilai *error* untuk perhitungan frekuensi yang paling mendekati sempurna. Oleh karenanya penggunaannya akan dipertahankan pada jumlah kapasitor dengan komposisi ke 6.

BAB 5

KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang dilakukan untuk sebuah perancangan *transmitter* pada sistem *Wireless Power Transmission (WPT)*. Maka didapat sebuah kesimpulan yang didapat adalah :

1. Sebuah transmisi daya dapat dilakukan secara nirkabel dengan menggunakan prinsip resonansi pada *couple magnetic*.
2. Komponen pada *Transmitter* pada sistem *WPT* terdiri dari *power supply*, rangkaian *switching*, dan rangkaian resonansi
3. Rangkaian *switching* merupakan rangkaian yang mengubah arus searah menjadi arus bolak balik dengan frekuensi tertentu.
4. Rangkaian resonansi merupakan rangkaian yang terdiri dari induktor dan kapasitor yang tersusun paralel, sehingga dapat membuat tegangan dapat terpancar yang dikarenakan hasil frekuensi rangkaian resonansi tersebut.
5. Dari hasil percobaan yang di lakukan pada sistem ini, kombinasi kapasitor ke-6 menghasilkan nilai transfer daya yang terbaik serta optimal.

DAFTAR REFERENSI

- [1] 2006, <hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/magfie.html#c1>
- [2] 2009, <<http://www.witricity.com/pages/technology.html>>
- [3] wikipedia.org/resonance
- [4] Eberhard Waffenschmidt, Philips Research, *Resonant Coupling*, 2009
<<http://www.wirelesspowerconsortium.com/technology/resonant-coupling.html>>
- [5] Hidayanto Djamal, Elektronika telekomunikasi, pusat pengembangan bahan ajar elektronika telekomunikasi - Universitas Mercu Buana, 2007
- [6] Dr David Pottinge, The Possibility Of Wireless Electricity, 2009
<<http://stepsandleaps.wordpress.com/2009/09/15/the-possibility-of-wireless-electricity>>
- [7] 2009, <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Tesla_colorado_adjusted.jpg>
- [8] 2009, <http://en.wikipedia.org/wiki/File:BrochureWardenclyffe_.PNG>
- [9] Kurs Andre(June 6, 2007),*Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances*, Science | Vol. 317. no. 5834, pp. 83 – 86
- [10] Budimir Djurdj and Marincic Aleksandar (2006) , *Research Activities and Future Trends of Microwave Wireless Power Transmission*,SIXTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM NIKOLA TESLA, Serbia.