



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN ALAT PENGATUR FREKUENSI  
PADA DUA JENIS ANTENA PEMANCAR  
WIRELESS POWER TRANSFER**

**SKRIPSI**

**ICHSAN JOTARO KARTASASMITA**

**0906603341**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM SARJANA EKSTENSI  
DEPOK  
JANUARI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN ALAT PENGATUR FREKUENSI  
PADA DUA JENIS ANTENA PEMANCAR  
WIRELESS POWER TRANSFER**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
Bidang Ilmu Teknik Program Studi Teknik Elektro**

**ICHSAN JOTARO KARTASASMITA**

**0906603341**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
PROGRAM SARJANA EKSTENSI  
DEPOK  
JANUARI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS

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

**Nama : Ichsan Jotaro Kartasasmita**

**NPM : 0906603341**

**Tanda tangan : **

**Tanggal : Januari 2012**

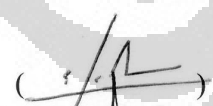

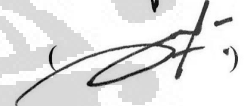
## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh,

Nama : Ichsan Jotaro kartasasmita  
NPM : 0906603341  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Rancang Bangun Alat Pengatur Frekuensi pada Dua Jenis Antena Pemancar Wireless Power Transfer

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan 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. Ridwan Gunawan, MT (  )  
Penguji II : Dr.Ir. Feri Yusivar, M.Eng (  )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 12 Januari 2012

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT dengan segala limpahan karunianya serta rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Banyak pihak yang telah membantu dalam menuntun langkah saya ini. Untuk itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua Orang Tuaku, Ismet Handiyana,S.Kom dan Latifah yang selalu memberikan nasihat, dan dukungan sehingga saya dapat menyelesaikan study di Universitas Indonesia.
2. Bapak Dr.-Ing Eko Adhi Setiawan, sebagai dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
3. Saudari Andinar Hirmaridha Islamy yang selalu memberikan semangat dan motivasi kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
4. Fajar Kawolu dan Arryadhul Qolbi sebagai sahabat dan rekan kerja di grup riset *Wireless Power Transfer*, Universitas Indonesia.
5. Semua teman ekstensi 2009 yang selalu memberikan nuansa hangat selama masa study, khususnya 9's & semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga karya tulis ini bermanfaat dan berguna bagi penulis khususnya dan juga bagi para pembaca umumnya. “Jangan pernah berhenti, teruslah mencari ilmu, berusaha, berdoa dan tawakal. Jangan pernah ragu untuk mencoba”.

Depok, Januari 2012

Penulis

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

---

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

Nama : Ichsan Jotaro Kartasasmita  
NPM : 0906603341  
Program Studi : Teknik Elektro Ekstensi  
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 :

**RANCANG BANGUN ALAT PENGATUR FREKUENSI  
PADA DUA JENIS ANTENA PEMANCAR  
WIRELESS POWER TRANSFER**

beserta perangkat yang ada. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan 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

Pada Tanggal : Januari 2012

Yang Menyatakan



Ichsan Jotaro Kartasasmita

## ABSTRAK

Nama : Ichsan Jotaro Kartasasmita

Program Studi : Teknik Elektro

Judul : Rancang Bangun Alat Pengatur Frekuensi pada Dua Jenis Antena  
Pemancar Wireless Power Transfer

Pada aplikasi wireless power transfer, rangkaian bekerja pada frekuensi resonansi. Berbagai antena memiliki karakteristik frekuensi resonansi yang berbeda.

Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, dirancang sebuah alat berbasis mikrokontroler yang memungkinkan pengguna menentukan frekuensi yang akan dibangkitkan.

Hasil pengujian dengan 2 tipe antena berbeda menunjukkan perbedaan karakteristik frekuensi resonansi. Pengaturan frekuensi juga menunjukkan konsumsi daya terkecil rangkaian transmitter terjadi pada frekuensi resonansi antena.

Kata kunci: aplikasi *wireless power transfer*, frekuensi resonansi, antena pengaturan frekuensi digital, daya transmitter

## ABSTRACT

Nama : Ichsan Jotaro Kartasasmita

Program Studi : Teknik Elektro

Judul : Control Design of Frequency Two Types Transmitter Antenna in  
Wireless Power Transfer

On the application of wireless power transfer, the circuit works at the resonant frequency. Various antennas have different characteristic of resonance frequency.

To fulfill this needs, device based on microcontroller that allows the user to specify the frequency have been designed.

The test results with two different antenna types showed differences in the characteristics of the resonant frequency. Frequency setting also showed the smallest power consumption of the transmitter circuit occurs at resonant frequency of the antenna.

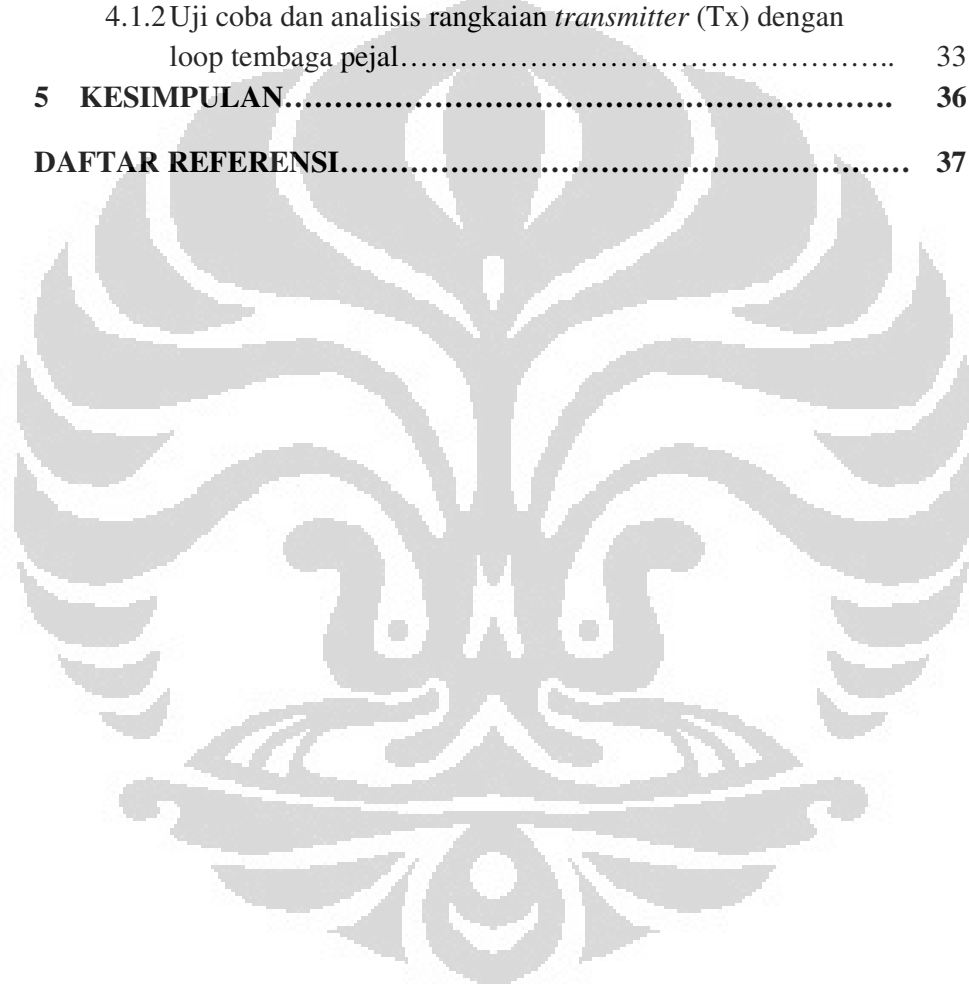
Keywords: applications of wireless power transfer, resonance frequency, antenna digital frequency setting, the transmitter power



## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN.....	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penulisan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Metodologi Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
<b>2 DASAR TEORI.....</b>	<b>4</b>
2.1 Sejarah <i>Wireless Power Transfer</i> .....	4
2.1.1 <i>Wireless power transfer</i> di masa lalu.....	4
2.1.2 <i>Wireless power transfer</i> di masa kini.....	6
2.2 Prinsip Induksi Elektromagnetik.....	9
2.3 Hukum Lenz.....	11
2.4 Induktansi Diri.....	12
2.5 Induktansi Bersama.....	14
2.6 Prinsip Induksi Resonansi Magnetik.....	15
2.6.1 Resonansi fisika.....	15
2.6.2 Resonansi elektromagnetik.....	16
2.6.3 Faktor Q.....	17
2.7 Rangkaian LC.....	18
<b>3 RANCANG BANGUN ALAT DAN METODA PERCOBAAN... ..</b>	<b>19</b>
3.1 Sistem Umum.....	19
3.2 Konsep Perancangan.....	21

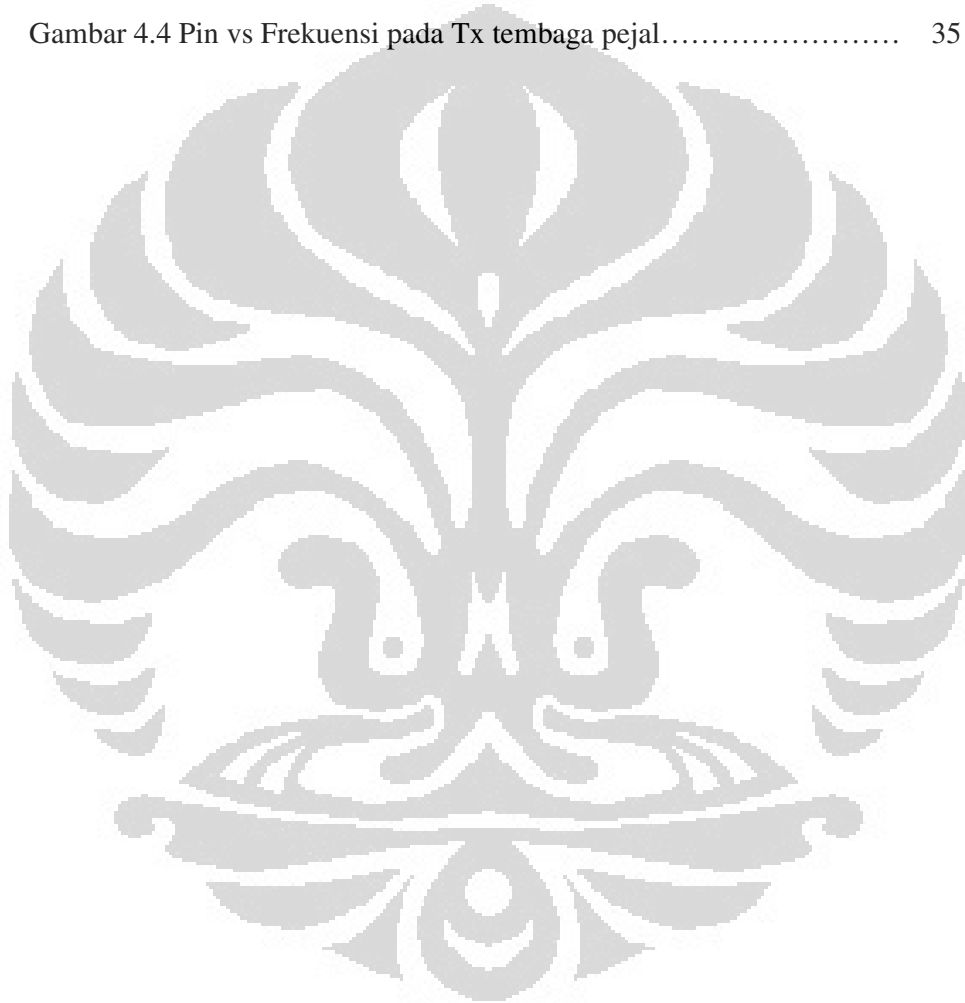
3.3 Perancangan.....	21
3.3.1 Perancangan <i>transmitter</i> .....	21
3.3.2 Perancangan <i>receiver</i> .....	22
3.3.3 Perancangan sistem gabungan.....	23
3.4 Metoda Pengukuran.....	26
<b>4 ANALISA HASIL PENGUKURAN.....</b>	<b>28</b>
4.1 Pengujian Rangkaian <i>Transmitter</i> (Tx) dan Analisis.....	28
4.1.1 Uji coba dan analisis rangkaian <i>transmitter</i> (Tx) dengan Loop tembaga <i>tubing</i> rongga.....	28
4.1.2 Uji coba dan analisis rangkaian <i>transmitter</i> (Tx) dengan loop tembaga pejal.....	33
<b>5 KESIMPULAN.....</b>	<b>36</b>
<b>DAFTAR REFERENSI.....</b>	<b>37</b>



## DAFTAR GAMBAR

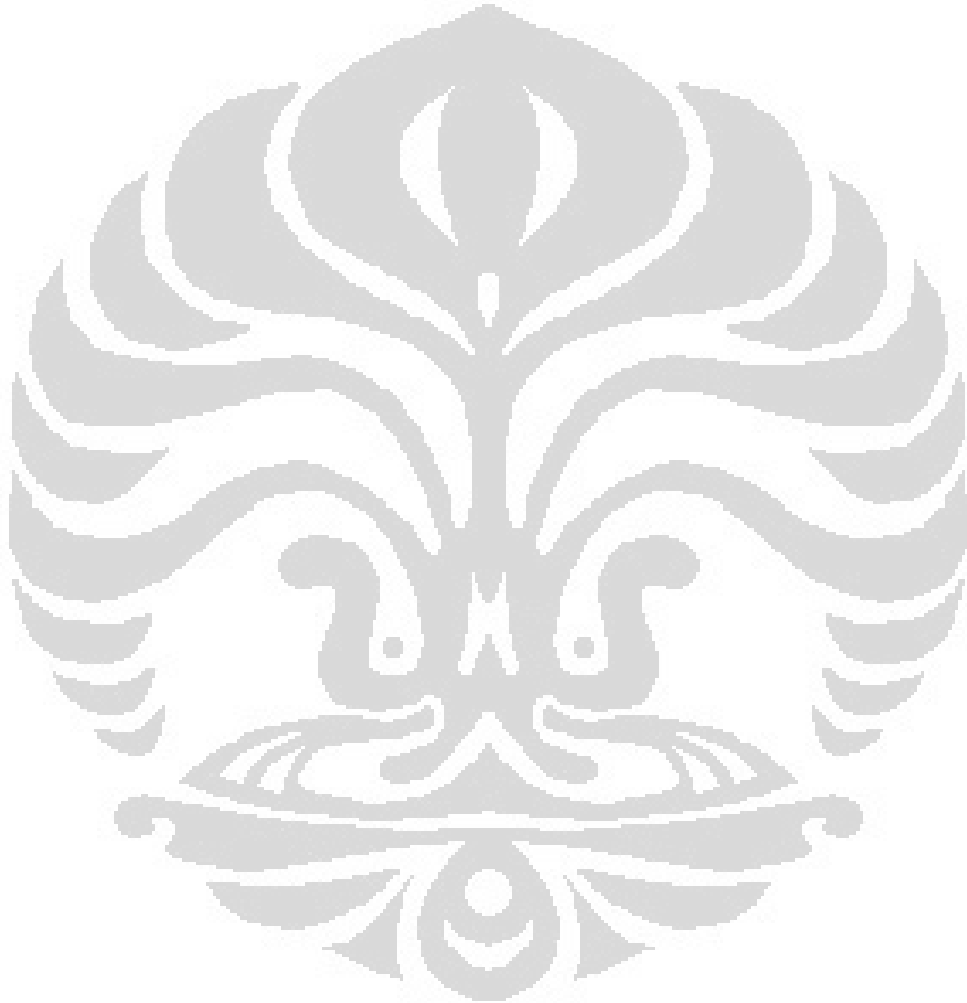
	Halaman
Gambar 1.1 Sketsa perbedaan menggunakan <i>wireless power</i> .....	1
Gambar 1.2 <i>Wireless power</i> induksi resonansi magnetik.....	2
Gambar 2.1 Nikola Tesla.....	4
Gambar 2.2 Wardencllyffe <i>Tower</i> atau disebut juga <i>Tesla Tower</i> .....	5
Gambar 2.3 <i>Tesla Coil</i> .....	6
Gambar 2.4 Mobil listrik dengan <i>wireless charging</i> .....	7
Gambar 2.5 <i>Wireless charger handphone</i> .....	7
Gambar 2.6 Gelombang <i>microwave</i> dengan <i>wireless transfer</i> dari sinar matahari.....	8
Gambar 2.7 Sketsa aplikasi <i>wireless power transfer</i> di masa depan.....	9
Gambar 2.8 Percobaan Faraday.....	10
Gambar 2.9 Arah GGL induksi.....	11
Gambar 2.10 Kaidah tangan kanan.....	12
Gambar 2.11 Induktansi diri.....	12
Gambar 2.12 Induktansi bersama.....	14
Gambar 2.13 Resonansi pada garpu tala.....	15
Gambar 2.14 Gelombang elektromagnetik.....	16
Gambar 2.15 Rangkaian LC.....	17
Gambar 3.1 Skema tahap-tahap proses perancangan.....	19
Gambar 3.2 Diagram <i>plant</i> dasar.....	20
Gambar 3.3 Rangkaian ekivalen <i>plant</i> dasar.....	21
Gambar 3.4 Penampang bahan loop pengirim.....	22
Gambar 3.5 <i>Plant</i> Rangkaian <i>transmitter</i> .....	22
Gambar 3.6 <i>Plant</i> Rangkaian <i>Receiver</i> .....	23
Gambar 3.7 Sketsa <i>Receiver</i> .....	23

Gambar 3.8 Diagram spektrum non ionisasi & ionisasi.....	25
Gambar 3.9 <i>Plant</i> alat pengatur frekuensi.....	26
Gambar 3.10 <i>Plant</i> pengukuran alat pengatur frekuensi.....	27
Gambar 4.1 Sketsa frekuensi resonansi pada Tx <i>tubing</i> rongga.....	32
Gambar 4.2 Pin vs Frekuensi pada Tx <i>tubing</i> rongga.....	32
Gambar 4.3 Sketsa frekuensi resonansi pada Tx tembaga pejal.....	35
Gambar 4.4 Pin vs Frekuensi pada Tx tembaga pejal.....	35



## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Data percobaan dengan Tx <i>tubing</i> rongga.....	29
Tabel 4.2 Data percobaan dengan Tx tembaga pejal.....	33

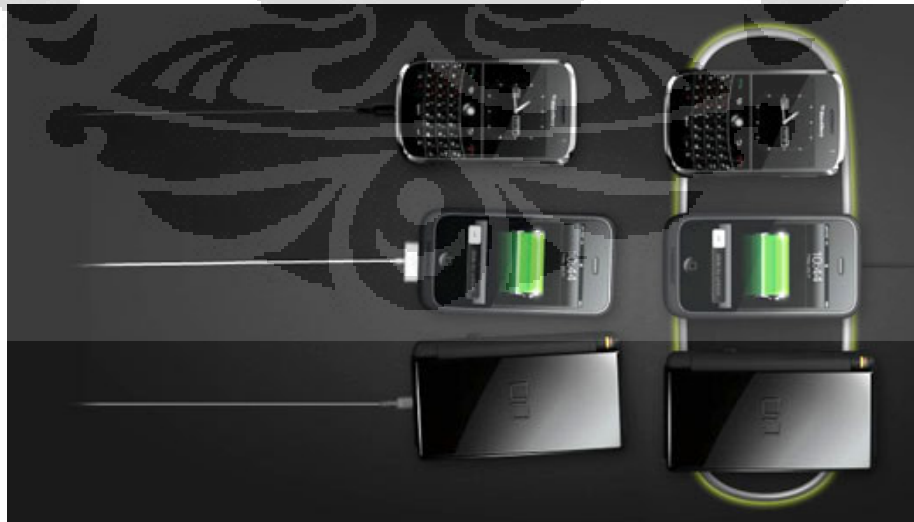


# BAB I

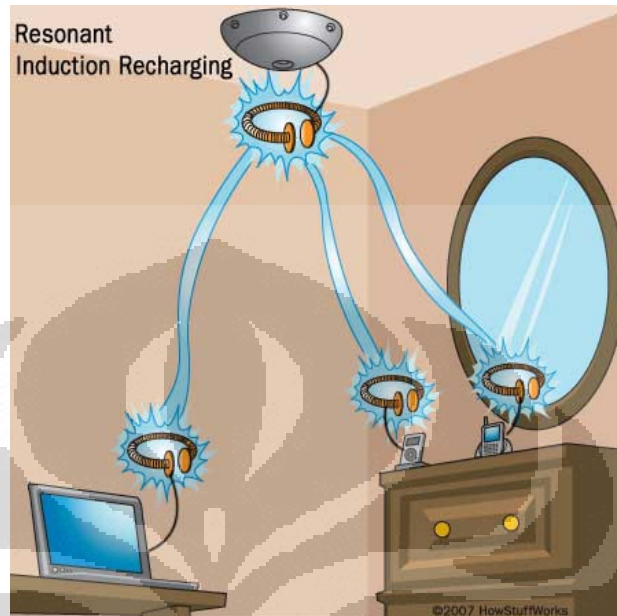
## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Seiring dengan semakin tingginya tuntutan masyarakat dalam menggunakan teknologi secara praktis, maka banyak kalangan yang sudah mulai berlomba-lomba untuk menemukan inovasi produk baru sehingga bisa diterima di tengah masyarakat. Salah satu alat yang masih jarang dan mempunyai kesempatan besar untuk diterima serta digunakan oleh masyarakat, yaitu transfer daya nirkabel. Hal ini dinilai sebagai sebuah peluang karena penggunaannya yang aplikatif dan fleksibel. Selain manfaatnya yang dapat menghilangkan bahaya seperti kebakaran, terjadinya arus pendek dan hal yang tidak diinginkan lainnya dikarenakan terdapatnya kabel jelek yang cepat meleleh dsb, transfer daya nirkabel ini juga dapat dihitung ekonomis dan efisien. Tanpa *wireless power*, nilai non-ekonomisnya dapat terlihat dari penggunaan alat elektronik dengan charger yang berbeda, namun dengan adanya *wireless power*, hal itu bisa dihilangkan seperti tampak pada gambar 1.1.



Gambar 1.1. Sketsa perbedaan menggunakan *wireless power*



Gambar 1.2. *Wireless power* induksi resonansi magnetik

Secara umum teorinya dapat digambarkan dengan pengiriman daya dari suatu alat ke alat yang lain atau bisa disebut juga pengiriman daya dari *transmitter* ke *receiver* dengan metode induksi resonansi magnetik, seperti yang terlihat pada gambar 1.2. Tetapi kendala yang saat ini sedang terjadi, yaitu masih rendahnya daya optimal yang dikirimkan jika jaraknya jauh, sehingga dibutuhkan penyempurnaan dan perbaikan agar lebih efektif serta dapat terus ditingkatkan.

Diharapkan dengan adanya penulisan skripsi ini, dapat membantu beberapa hal yang seharusnya dikaji sebagai landasan baru untuk menunjang penyempurnaan rangkaian transfer daya nirkabel yang lainnya di masa mendatang.

## 1.2. Tujuan Penulisan

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk merancang suatu alat yang dapat mentransmisikan daya nirkabel dengan metode *tuning/tracking* frekuensi. Dan nilai frekuensi yang beresonansi sesuai antara modul frekuensi eksternal dan loop pengirim pada rangkaian *transmitter*.

### 1.3. Batasan Masalah

Pada penulisan skripsi ini, hanya dibatasi pada perancangan dari rangkaian transmitter yang merupakan fungsi utama dari proses *tuning/tracking* frekuensi *wireless power transfer* dengan dua jenis loop pengirim, yaitu tembaga rongga dan tembaga pejal.

### 1.4. Metodologi Penulisan

Metode penulisan yang digunakan pada skripsi ini adalah studi kepustakaan, studi analisis, referensi jurnal internasional, referensi internet, pembuatan alat dan pengamatan data-data hasil pengukuran yang dilakukan di ruangan grup riset *Wireless Power Transfer*, gedung Engineering Center, Universitas Indonesia.

### 1.5. Sistematika Penulisan

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 perkembangan terkait tentang *wireless power transfer*.

Pada bab ketiga berisi penjelasan tentang konsep dan metodologi design sistem *tuning/tracking* frekuensi *wireless power transfer* yang dirancang pada karya tulis ini, khususnya rangkaian transmitter dan metode pengukurannya.

Pada bab keempat berisi tentang data hasil pengujian dan analisa dalam bentuk tabel serta grafik dari percobaan.

Pada bab kelima berisi tentang kesimpulan yang didapat dari hasil pengujian selama penelitian.



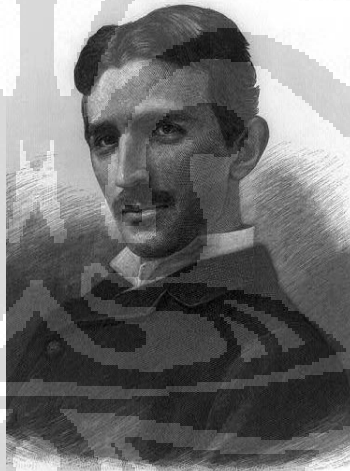
## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1. Sejarah *Wireless Power Transfer*

##### 2.1.1. *Wireless power transfer* di masa lalu

Pada tahun 1856 di kota Smiljan wilayah Croatia tanggal 10 Juli, lahir seorang ilmuwan sekaligus penemu terpenting dalam sejarah bernama Nikola Tesla. Ia menjadi warga negara Amerika Serikat pada tahun 1891 saat bekerja di salah satu perusahaan di negara itu. Semasa hidupnya, Tesla dianggap sebagai seorang perintis dan merupakan salah seorang teknisi terbesar pada akhir abad ke-19 dan ke-20.



Gambar 2.1. Nikola Tesla

Pada kurun abad tersebut, ia menemukan elektromekanik, transmisi listrik bolak-balik (*Alternating Current*), radio, sinar-x, motor AC, distribusi daya *polyphase*, pengiriman daya nirkabel, dsb.

Khusus untuk yang disebutkan terakhir yaitu pengiriman daya nirkabel, dahulu kala tepatnya pada akhir abad ke-19 Nikola Tesla sudah pernah melakukan uji coba pengiriman daya nirkabel ini. Dan pada saat itu,

alat hasil penemuannya dinamakan atas dirinya sendiri, yaitu *Tesla Coil*. Dari percobaan yang dilakukannya tersebut, alat yang dibuatnya telah berhasil mengirimkan daya listrik sebesar 1.000.000 volt tanpa kabel sejauh 26 mil untuk menyalakan 200 lampu bohlam dan satu motor listrik.



Gambar 2.2. Wardencliff *Tower* atau disebut juga *Tesla Tower*

Namun penemuan dan teknologi yang dibuatnya pada masa itu harus dihentikan, karena efek samping dari pengiriman tegangan yang sangat tinggi dapat merusak benda-benda elektronik di sekitarnya, serta lompatan listrik yang dihasilkan dari alat tersebut dapat membahayakan umat manusia.

Kemudian penemuan Tesla dikembangkan oleh ilmuwan Jerman Heinrich Hertz pada tahun 1886, dimana ia telah berhasil melakukan percobaan dengan radiasi radio antara dua titik tanpa kabel yang hasilnya, radio memiliki properti gelombang dan menemukan bahwa persamaan elektromagnetik dapat di formulasikan. Sejak saat itu Hertz diklaim sebagai

penemu gelombang elektromagnetik. Ini merupakan sebuah konsep yang ditemukan satu abad yang lalu, tetapi sedang ramai dibicarakan sekarang.

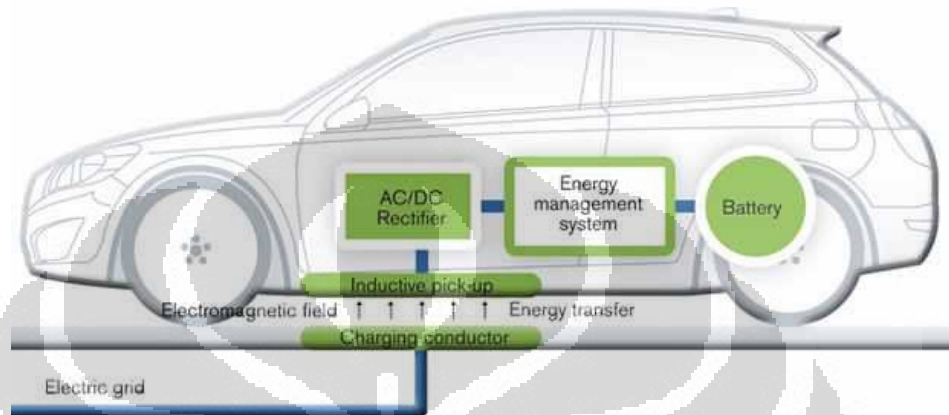


Gambar 2.3. Tesla Coil

### **2.1.2. Wireless power transfer di masa kini**

Lalu seiring dengan semakin berkembangnya teknologi jaman sekarang, komponen yang ada kini jauh lebih maju membuat penemuan-penemuan yang dulunya hanya sebuah ide kini bisa direalisasikan. Bukti dari hal itu ialah pengembangan dari pengiriman daya nirkabel yang dilakukan Tesla yang pada dahulu dinilai berbahaya, kini menjadi lebih aman dan efisien. Perbedaan mendasarnya ialah pada percobaan Tesla, saat itu proses pengiriman daya nirkabel selalu terhubung dengan *ground* pada akhirnya. Tetapi saat ini, pengiriman daya nirkabel menggunakan *coil* yang berfrekuensi tinggi dengan prinsip resonansi kopling magnetik tanpa *grounding*.

Contoh nyata dari *wireless power transfer* di masa kini diantaranya terealisasi pada *wireless charger handphone* dan mobil listrik *wireless charging*.



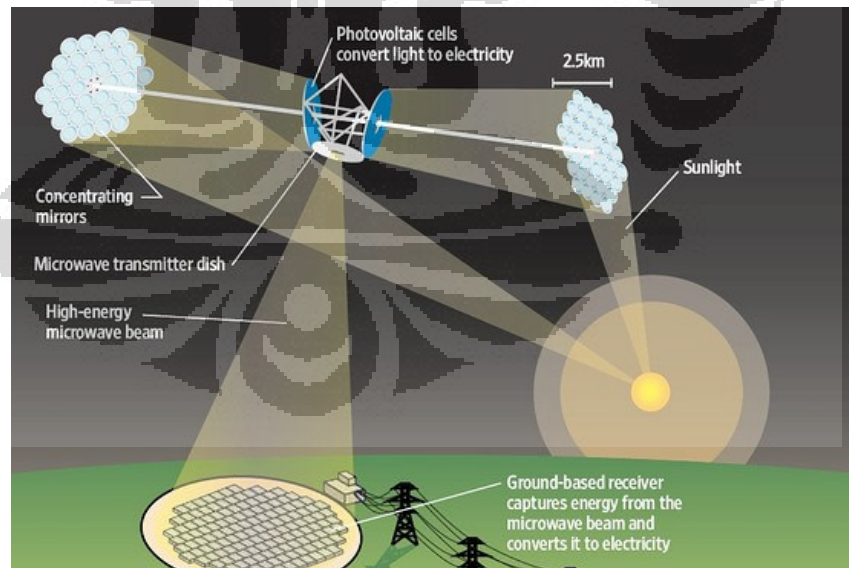
Gambar 2.4. Mobil listrik dengan *wireless charging* <sup>[2]</sup>



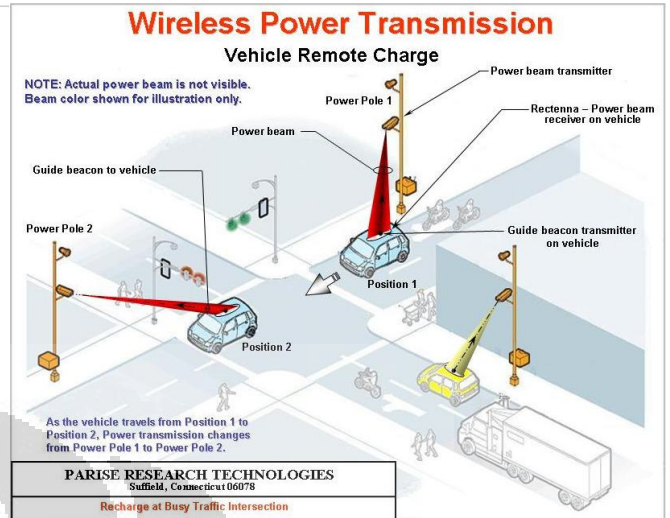
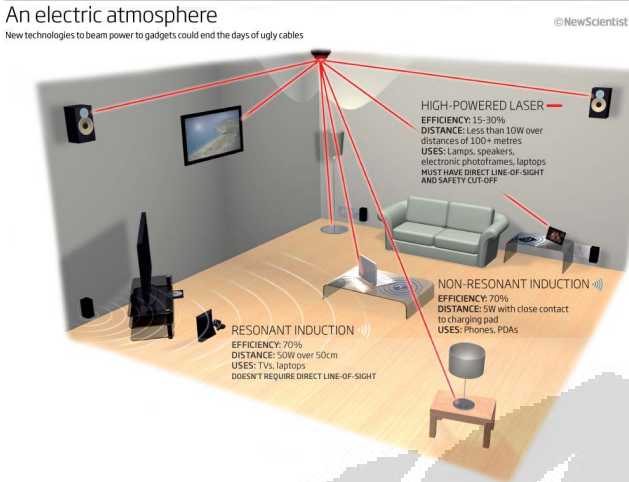
Gambar 2.5. *Wireless charger handphone*

Pada bidang otomotif, aplikasi *wireless power transfer* ini dimaksudkan untuk meminimalisasi efek pemanasan global sehingga menjadi ramah lingkungan. Dan untuk peralatan elektronika seperti *handphone*, laptop, televisi dll, manfaat yang ditimbulkan dari *wireless power transfer* ini adalah ke-praktisan dan fleksibel. Metode yang digunakan dalam melakukan *charging* ialah dengan komunikasi pendeteksian antara *transmitter* dan *receiver*, dimana jika tidak ada beban maka alat tidak akan melakukan *charging* dan sebaliknya. Sebenarnya teknologi ini sudah ada, tetapi belum gencar dikomersialkan karena ada beberapa hal yang harus ditinjau terlebih dahulu sebelum diproduksi misalnya seperti efek samping bagi umat manusia, lingkungan dan alam sekitar.

Di masa depan, mungkin sudah terdapat beberapa aplikasi lain dari *wireless power transfer* meskipun sekarang belum terwujud namun sedang dalam proses pengembangan seperti *charger* mobil massal di halte serta tempat parkir, *trolley wireless charger*, *charger wireless smart home*, dan pemanfaatan sinar matahari sebagai sumber tenaga dengan pemancaran gelombang *microwave*.



Gambar 2.6. Gelombang *microwave* dengan *wireless transfer* dari sinar matahari



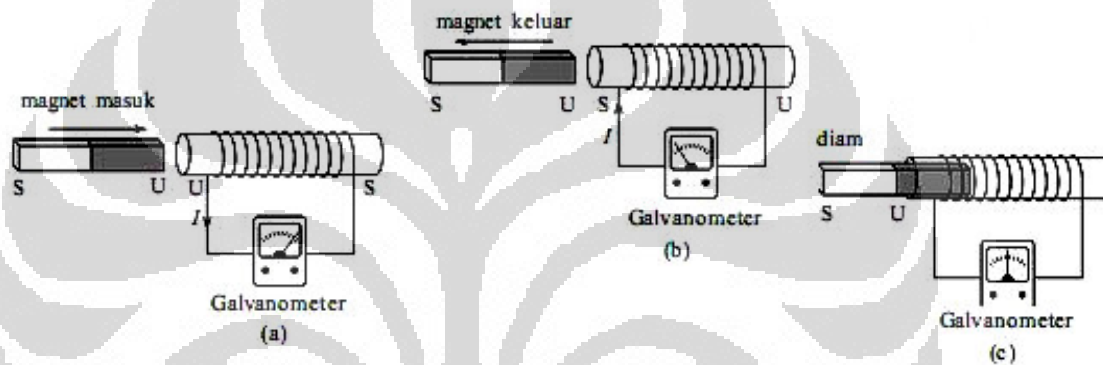
Gambar 2.7. Sketsa aplikasi *wireless power transfer* di masa depan

## 2.2. Prinsip Induksi Elektromagnetik

Pada tahun 1821 Michael Faraday melalui sebuah eksperimen sederhana membuktikan bahwa perubahan medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Sebuah magnet yang digerakkan masuk dan keluar pada sebuah kumparan dapat menghasilkan arus listrik. Alat yang menunjukkan ada tidaknya arus yang mengalir adalah galvanometer.



Cara kerjanya, pada saat magnet digerakkan masuk dan keluar kumparan, jarum galvanometer menunjukkan penyimpangan kekanan dan kekiri. Hal ini menunjukkan bahwa magnet yang digerakkan keluar dan masuk pada kumparan menimbulkan arus listrik. Beda halnya jika magnet diam, pada ujung kumparan tidak terjadi arus listrik. Dan arus listrik terjadi apabila pada ujung-ujung kumparan terdapat GGL (Gaya Gerak Listrik) dan GGL yang terjadi di ujung-ujung kumparan dinamakan GGL induksi. Penyimpangan yang terjadi pada galvanometer menunjukkan bahwa GGL induksi yang dihasilkan berupa tegangan bolak-balik (AC).



Gambar 2.8. Percobaan Faraday

Ketika kutub utara magnet batang digerakkan masuk ke dalam kumparan, jumlah garis-garis gaya magnet yang terdapat di dalam kumparan bertambah banyak. Sehingga dengan bertambahnya garis-garis gaya akan menimbulkan GGL induksi pada ujung-ujung kumparan. GGL induksi yang ditimbulkan menyebabkan arus listrik mengalir menggerakkan galvanometer dan arah arus induksi dapat ditentukan dengan melihat arah medan magnet yang ditimbulkannya. Lalu pada saat magnet masuk, garis gaya dalam kumparan bertambah tetapi mengakibatkan medan magnet hasil arus induksi mengurangi garis-garis gaya itu. Dengan demikian, ujung kumparan itu merupakan kutub utara sehingga arus induksi seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8.a.

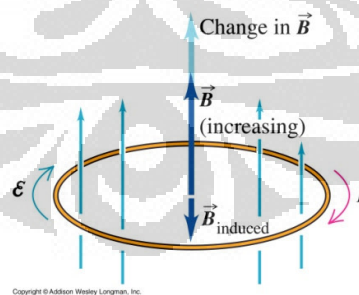
Kemudian ketika kutub utara magnet batang digerakkan keluar dari dalam kumparan, maka jumlah garis-garis gaya magnet yang terdapat di dalam kumparan berkurang. Berkurangnya garis-garis gaya ini menimbulkan GGL

induksi pada ujung kumparan. Setiap GGL induksi yang ditimbulkan, menyebabkan jarum galvanometer bergerak dan arus listrik mengalir. Saat magnet keluar, garis-garis gaya dalam kumparan berkurang, sama pada kondisi ketika medan magnet masuk. Hal itu mengakibatkan medan magnet arus induksi menambah garis gaya itu. Dengan demikian, ujung kumparan itu merupakan kutub selatan dan diperlihatkan pada gambar 2.8.b.

Lalu ketika kutub utara magnet diam di dalam kumparan, garis-garis gaya magnet tidak akan terjadi perubahan apa-apa. Dikarenakan jumlah garis-garis gaya yang tetap, maka pada ujung kumparan tidak terjadi GGL induksi. Akibatnya jarum galvanometer tidak bergerak dan tidak terjadi arus listrik. Jadi GGL induksi dapat terjadi jika di dalam kumparan timbul perubahan jumlah garis-garis gaya magnet. GGL yang timbul akibat perubahan jumlah garis-garis gaya magnet dalam kumparan disebut GGL induksi, sedangkan arus yang ditimbulkan oleh GGL induksi disebut arus induksi. Sehingga peristiwa terjadinya GGL induksi dan arus induksi akibat berubahnya jumlah garis-garis gaya magnet disebut induksi elektromagnetik.

### 2.3. Hukum Lenz

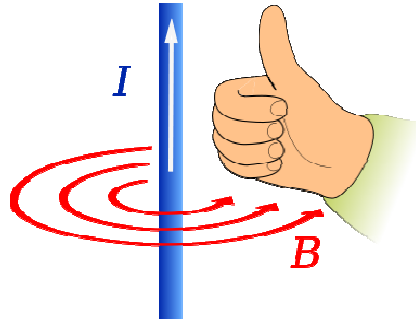
Pada hakikatnya, hukum Lenz berbunyi: “Arah arus induksi dalam suatu penghantar sedemikian, sehingga menghasilkan medan magnet yang melawan perubahan garis gaya yang menimbulkannya”.



Gambar 2.9. Arah GGL induksi

Dari gambar 2.9 di atas terlihat jika medan magnet semakin bertambah, maka timbul medan magnet induksi yang berlawanan arah ke bawah. Medan induksi ini menghasilkan GGL induksi sesuai dengan kaidah tangan kanan seperti pada gambar 2.10.





Gambar 2.10. Kaidah tangan kanan

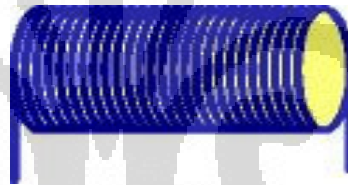
## 2.4. Induktansi Diri

Arus yang mengalir melalui induktor akan membentuk suatu medan magnet, dimana jika arus berubah maka medan magnet ini pun akan berubah dan sebaliknya. Perubahan pada medan magnet ini akan menginduksi suatu tegangan pada coil. Induktansi dinotasikan dengan  $L$ , satuan  $1H=1Wb/A=1Tm^2/A$ .

Jika dikaitkan dengan pernyataan di atas, dapat di ambil contoh :

- B pada solenoida panjang:

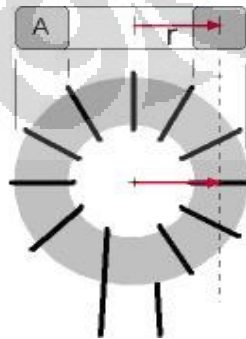
$$B = \mu_0 n I \quad (2-1)$$



Gambar 2.11. Selenoid panjang

- B pada toroida:

$$B = \frac{\mu_0 N I}{2\pi R} \quad (2-2)$$

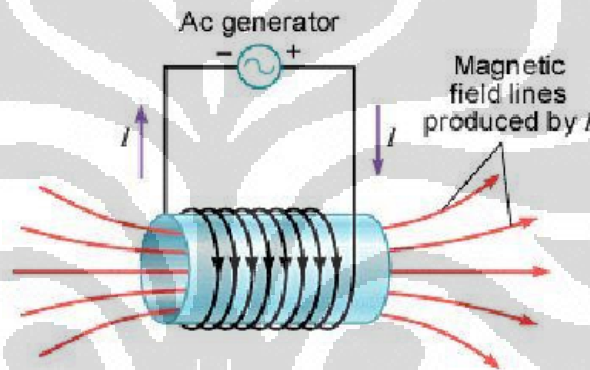


Gambar 2.12. Toroida

Ket :  $\mu_0$  = Permeabilitas udara vakum ( $4\pi \times 10^{-7} \text{ WbA}^{-1}\text{m}^{-1}$ )  
 $n$  = Jumlah lilitan N terhadap panjang induktor (lilitan/m)  
 $I$  = Kuat arus listrik (A)  
 $R$  = Jari-jari induktor (m)  
 $B$  = Kuat medan magnet (Tesla)  
 $L$  = Induktansi (Henry)  
 $N$  = Jumlah lilitan kumparan  
 $\Phi$  = Fluks magnetik (Webber)  
 $\varepsilon$  = GGL induksi (Volt)

Dari persamaan (2-1) sampai dengan (2-2) terlihat bahwa  $B$  sebanding dengan  $I$ , dan nilai *fluks* juga sebanding dengan  $I$ . sehingga didapatkan persamaan:

$$N\Phi = LI \quad (2-3)$$



Gambar 2.13. Induktansi diri

Dimana  $L$  adalah ketetapan sebanding antar nilai  $\Phi$  dan  $I$  yang dinamakan sebuah induktansi diri, dan  $N$  dinotasikan sebagai jumlah lilitan, maka:

$$\varepsilon = -\left(\frac{\Delta(\Phi)}{\Delta t}\right) = -\frac{\Delta\pi r^2 BN}{\Delta t} \quad (2-4)$$

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\pi r^2 \mu_0 N^2 I}{2\pi R \Delta t} = -\frac{\mu_0 r^2 N^2}{2R} \times \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (2-5)$$

Sehingga nilai induktansi untuk toroida adalah

$$L = \frac{\mu_0 r^2 N^2}{2R} \quad (2-6)$$

Seperti yang sudah disebutkan di atas, arus dalam rangkaian dapat berubah terhadap waktu sehingga *fluks* magnetik juga berubah, maka timbul GGL induksi dalam rangkaian dan hubungannya:

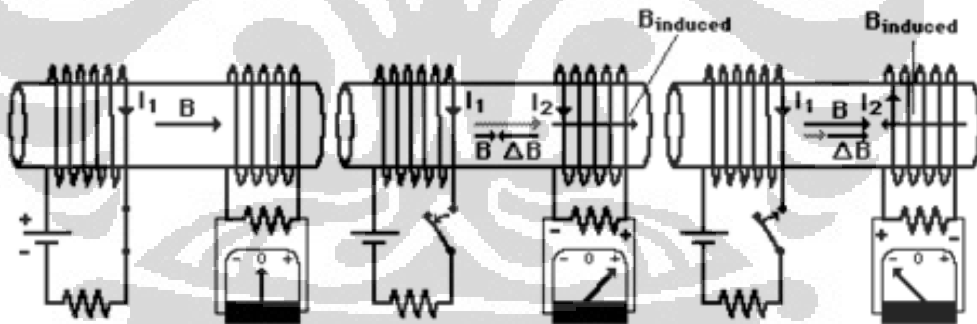
$$\frac{d\Phi_m}{dt} = L \frac{d(I)}{dt} = L \frac{dI}{dt} \quad (2-7)$$

Lalu dikarenakan hukum Faraday bahwa perubahan *fluks* listrik dapat menimbulkan GGL, maka persamaan (2-7) dapat dinyatakan dengan:

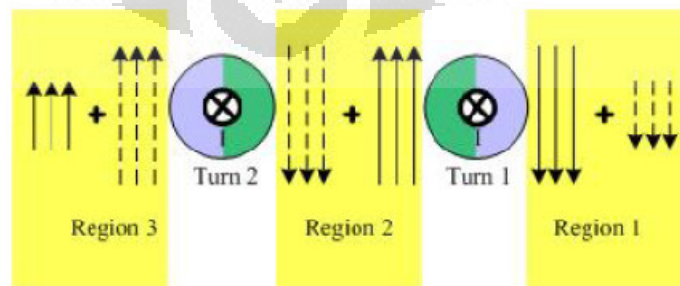
$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t} = -\frac{\Delta(LI)}{\Delta t} \quad \varepsilon = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (2-8)$$

## 2.5. Induktansi Bersama

Induktansi bersama terjadi ketika ada perubahan arus yang mengakibatkan *fluks* di kumparan berikutnya berubah.



Gambar 2.14. Induktansi bersama<sup>[5]</sup>



Gambar 2.15. Proses induksi antar kumparan<sup>[5]</sup>

Seperti yang terlihat pada gambar 2.12 di atas, arus  $i_1$  pada kumparan 1 akan menghasilkan medan magnet yang *fluksnya* mempengaruhi kumparan 2. Saat  $i_1$  terjadi perubahan, maka medan magnet pada kumparan 1 juga akan berubah. Hal ini mengakibatkan terjadinya GGL induksi pada kumparan 2. Kemudian saat GGL induksi timbul pada kumparan 2, maka arus akan mengalir di kumparan 2 dan menyebabkan medan magnet mempengaruhi kumparan 1. Proses inilah yang menghasilkan induktansi bersama ( $M$ ), sehingga didapatkan persamaan Faraday, yaitu

$$\varepsilon_2 = -M \frac{di_1}{dt} \quad (2-9)$$

$$\varepsilon_1 = -M \frac{di_2}{dt} \quad (2-10)$$

Besar  $M$  (*Mutual Inductance*) yang didapat adalah

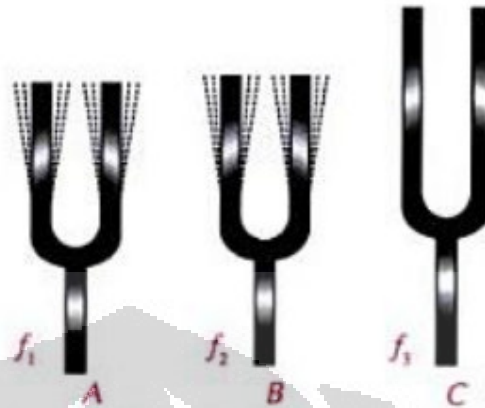
$$M = \frac{N_2 \Phi_{B2}}{i_1} = \frac{N_1 \Phi_{B1}}{i_2} \quad (2-11)$$

## 2.6. Prinsip Induksi Resonansi Magnetik

### 2.6.1. Resonansi fisika

Resonansi merupakan suatu fenomena dimana sebuah sistem bergetar dengan amplitudo yang maksimum akibat adanya impuls gaya yang berubah-ubah. Hal ini dapat terjadi bila frekuensi gaya yang bekerja tersebut berimpit atau sama dengan frekuensi getar dari sistem tersebut.

Banyak contoh dari peristiwa resonansi yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari, antara lain: bila dua buah gelas berdekatan dan dibangkitkan suatu nada (frekuensi) yang besarnya sama dengan frekuensi gelas itu sendiri, maka gelas itu akan bergetar (berbunyi). Bila nada (frekuensi) tadi dibunyikan cukup keras dan secara terus-menerus maka getar gelas akan semakin keras sehingga dapat menyebabkan gelas pecah.



Gambar 2.16. Resonansi pada garpu tala

Atau contoh lainnya seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.13 dengan tiga buah garpu tala. Garpu tala A dan B memiliki frekuensi sama, sedangkan garpu tala C memiliki frekuensi berbeda. Ketika garpu tala A digetarkan, garpu tala B juga ikut bergetar, tetapi garpu tala C tidak ikut bergetar. Dari hal itu, dapat disimpulkan bahwa jika suatu benda yang memiliki frekuensi sama berdekatan dan salah satunya di getarkan maka yang lainnya juga ikut bergetar. Sedangkan untuk benda yang memiliki frekuensi berbeda, akan tetap diam atau tidak bergetar.

Karena frekuensi sumber mempunyai nilai tetap dan pasti, maka terjadinya resonansi dapat dijelaskan dengan rumus:

$$\lambda = v/f \quad (2-12)$$

Jarak yang dinotasikan dengan  $d$  diantara kedudukan berurutan adalah jarak diantar titik-titik yang berdekatan

$$d = \lambda/2 \text{ atau } \lambda = 2d \quad (2-13)$$

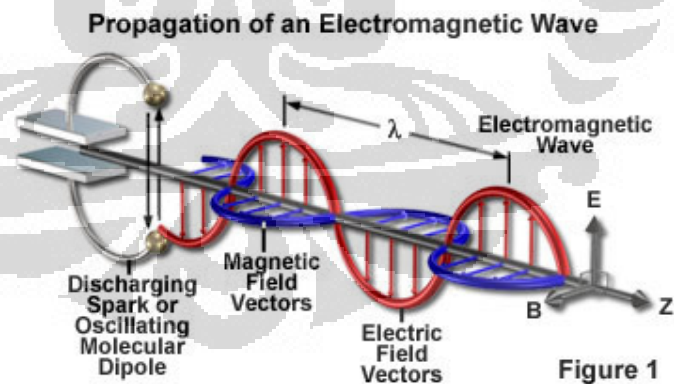
Dengan menggabungkan persamaan (2-12) dan (2-13), didapatkan:

$$2d = v/f \text{ atau } v = 2df \quad (2-14)$$

### 2.6.2. Resonansi elektromagnetik

Medan magnet yang berubah terhadap waktu dapat membangkitkan medan listrik yang juga berubah terhadap waktu, dan juga sebaliknya. Jika proses ini berlangsung terus menerus, maka akan dihasilkan medan magnet dan medan listrik yang terus menerus juga. Selain itu, medan magnet dan medan listrik yang secara serempak di dalam ruang merambat ke segala arah, maka terjadi gelombang dalam gejala ini. Gelombang yang merambat dalam ruang membawa serta medan magnet dan medan listrik dapat disebut juga gelombang elektromagnetik.

Tetapi radiasi medan elektromagnetik pada skala tertentu dapat menjadi ancaman bagi seluruh organisme yang hidup di sekitarnya. Dalam pembangkitannya, hasil radiasi gelombang elektromagnetik akan memancarkan sejumlah energi yang dipancarkan terus menerus ke lingkungan, tidak bergantung apakah ada yang menangkap atau tidak. Jika dalam jangkauannya ada suatu benda yang dapat menangkap radiasi gelombang elektromagnetiknya, maka benda tersebut akan beresonansi serta mendapat energi hasil perpindahan dari gelombang elektromagnetik. Dan selama perpindahan itu berlangsung, perpindahan itu terjadi secara resonansi elektromagnetik.



Gambar 2.17. Gelombang elektromagnetik

Dari keterangan di atas, dapat disimpulkan bahwa kita dapat merancang sebuah alat resonator yang memiliki frekuensi tertentu dan berperan sebagai pengirim dengan metode gelombang elektromagnetik pada sistem. Kemudian juga merancang sebuah alat yang dapat menerima

gelombang elektromagnetik dan memiliki nilai frekuensi yang sama atau mirip dengan pengirim. Yang mana diharapkan dapat terjadi resonansi secara elektromagnetik dan energi yang ditangkap oleh rangkaian penerima di konversikan serta di *supply* kepada beban melalui rangkaian tambahan yang sesuai.

### 2.6.3. Faktor Q

Faktor Q atau disebut juga faktor kualitas didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan pada induktor dan tegangan resistansi induktor, dengan persamaan

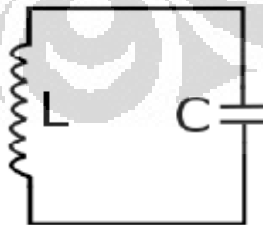
$$Q = \frac{\omega L}{R} \quad (2-15)$$

Dimana  $\omega = 2\pi f$ ;

Fungsi dari faktor kualitas ialah menentukan sifat selektifitas rangkaian tuning, dimana selektifitas didefinisikan sebagai kemampuan memisahkan satu frekuensi dari frekuensi lain dalam kisaran satu *band* frekuensi.

### 2.7. Rangkaian LC

Rangkaian LC merupakan salah satu rangkaian penting untuk penghasil osilasi yang terdiri atas komponen induktor (L) dan kapasitor (C). Rangkaian LC digunakan untuk menghasilkan sumber arus bolak-balik dari sebuah sumber DC.



Gambar 2.18. Rangkaian LC

Kegunaan lainnya adalah untuk menentukan frekuensi dari sebuah osilator ketika menjadi *resonant* osilator, dimana nilainya ditentukan oleh

induktansi pada trafo lilitan primer dan kapasitor. Formulasnya adalah sebagai berikut:

$$X_L = X_C \quad (2-16)$$

$$2\pi f_r L = \frac{1}{2\pi f_r C} \quad (2-17)$$

$$f_r^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC} \quad (2-18)$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2-19)$$

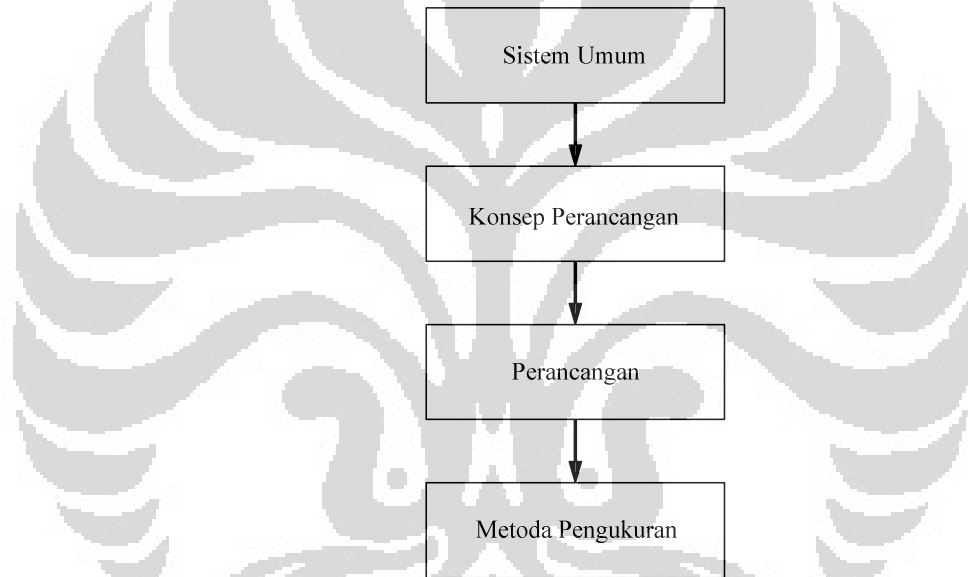
Dari formula di atas, kita bisa memperoleh frekuensi yang beresonansi pada rangkaian LC. Dimana L adalah induktansi dalam satuan *Henry* dan C adalah kapasitansi dalam satuan *Farad*.



## BAB III

### RANCANG BANGUN ALAT DAN METODA PERCOBAAN

Pada bab ini menjelaskan perancangan sistem dan prosedur pengukuran alat pengatur frekuensi untuk pengiriman daya nirkabel. Namun sebelumnya, agar pembahasannya lebih sistematis dan mudah dipahami, maka dibutuhkan sebuah tahapan untuk membantu proses pembuatan dan mencapai tujuan yang diharapkan.



Gambar 3.1. Skema tahap-tahap proses perancangan

#### 3.1 Sistem Umum

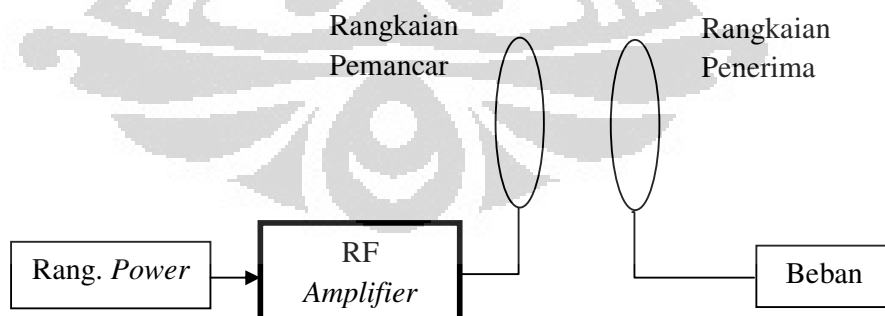
Pada dasarnya, rancang bangun dalam karya tulis kali ini merupakan pengembangan dari rancangan alat *wireless power transfer* yang sebelumnya. Sebagai pengingat, pengertian dari *wireless power transmission* secara umum ialah pengiriman daya nirkabel dari suatu alat ke alat lainnya dengan jarak tertentu. Jika pada rancangan sebelumnya hanya dibutuhkan rangkaian pemancar (*transmitter*) dan rangkaian penerima (*receiver*), tetapi kali ini terdapat beberapa

tambahan *device* guna mendukung kinerja alat tersebut saat sedang aktif bekerja. Seluruh *device* yang digunakan dalam rancang bangun alat kali ini terdiri dari:

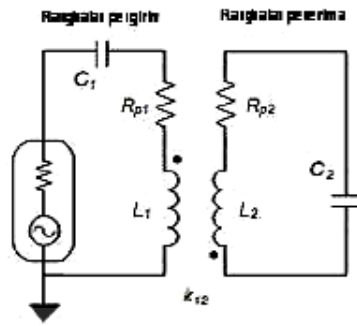
- Modul keypad
- LCD
- Mikrokontroller
- Modul frekuensi eksternal
- Rangkaian Pemancar (*Transmitter*)
- Rangkaian Penerima (*Receiver*).

Dalam fungsinya kali ini, modul keypad merupakan sebuah modul logika untuk membuat sejumlah kombinasi angka/nilai yang dapat langsung *input* oleh *user*. Lalu LCD berfungsi sebagai *display* dan indikator dari *input/output*, sedangkan mikrokontroller merupakan inti dari alat ini sebagai pengatur dan pengolah keluar masuknya data-data perintah. Namun karena satu dan lain hal, *device* mikrokontroller & modul frekuensi eksternal tidak dibahas lebih jauh.

Kemudian rangkaian pemancar terdiri atas rangkaian power dan rangkaian RF *amplifier*. Rangkaian penerima sendiri merupakan rangkaian yang dapat beresonansi dengan pemancar sehingga mempunyai frekuensi yang sama & dipengaruhi faktor komponen LC. Gambar 3.2 di bawah ini merupakan diagram *plant* dasar secara garis besar:



Gambar 3.2. Diagram *plant* dasar



Gambar 3.3. Rangkaian ekivalen *plant* dasar

### 3.2 Konsep Perancangan

Dalam konsep perancangan alat kali ini mengacu pada batasan masalah, dengan demikian konsep perancangan sistem adalah sebagai berikut:

1. Perancangan *Transmitter*
2. Perancangan *Receiver*
3. Perancangan Sistem Gabungan.

Setelah memperoleh konsep, maka tahapan selanjutnya adalah perancangan dimana urutan pembuatannya harus sesuai dengan konsep perancangan di atas.

### 3.3 Perancangan

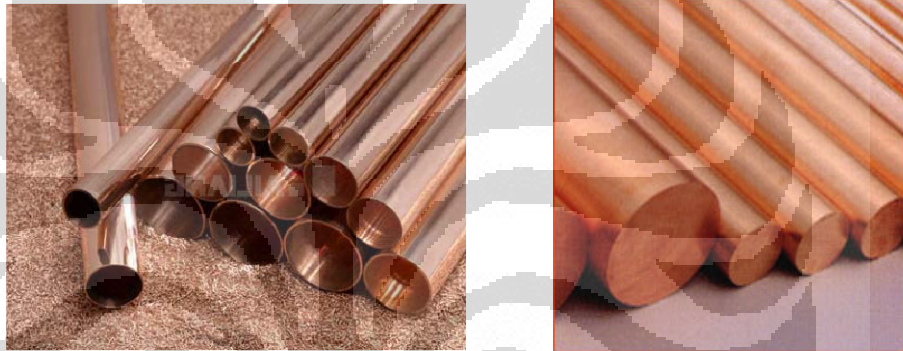
#### 3.3.1 Perancangan *transmitter*

Untuk perancangan kali ini, peran dari rangkaian *transmitter* cukup penting karena tanpa adanya rangkaian ini transmisi/pengiriman energi listrik nirkabel mustahil dilakukan. Disamping itu, rangkaian ini membutuhkan konfigurasi yang tidak umum karena berkaitan dengan modul frekuensi eksternal. Untuk lebih jelasnya akan dibahas pada subbab perancangan sistem gabungan.

Dalam aplikasinya, rangkaian *transmitter* bekerja menggunakan prinsip resonansi elektromagnetik yang dihasilkan dari sebuah osilator. Dimana osilator berfungsi sebagai resonator yang menghasilkan gelombang elektromagnet dengan frekuensi tertentu dan dipancarkan secara induksi kepada rangkaian penerima sehingga rangkaian penerima

juga memiliki frekuensi yang sama atau mirip dengan rangkaian pemancar.

Cara pengiriman daya dari rangkaian *transmitter* ini adalah melalui loop pengirim, dimana loop pengirim bisa merupakan sebuah tembaga *tubing* berongga atau tembaga pejal. Keluaran dari salah satu loop pengirim tersebut memancarkan tegangan bolak-balik (AC) & sebuah nilai frekuensi yang tetap kepada penerima. Tetapi nilai frekuensi yang dikirimkan bisa berubah-ubah tergantung kombinasi komponen LC yang dipakai.



Gambar 3.4. Penampang bahan loop pengirim

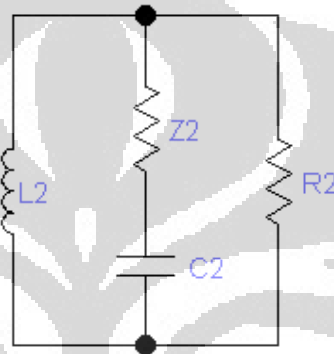


Gambar 3.5. Plant Rangkaian *transmitter*

### 3.3.2 Perancangan *receiver*

Meskipun rangkaian penerima (*receiver*) hanya digunakan sebagai indikator dalam pengukuran kali ini, kami akan coba kupas sedikit tentang mekanisme kerjanya. Rangkaian *receiver* berfungsi sebagai penangkap

frekuensi dari *transmitter* berupa gelombang elektromagnetik yang bekerja secara resonansi. Dengan kata lain, jika rangkaian *transmitter* belum mencapai nilai frekuensi yang tepat, maka rangkaian penerima tidak akan bekerja. Namun jika frekuensi sudah mencapai nilai yang seharusnya, maka akan langsung terlihat pada beban bahwa rangkaian penerima bekerja dengan baik dan dalam hal ini faktor komponen LC mempengaruhi.



Gambar 3.6. *Plant* Rangkaian *Receiver*



Gambar 3.7. Sketsa *Receiver*

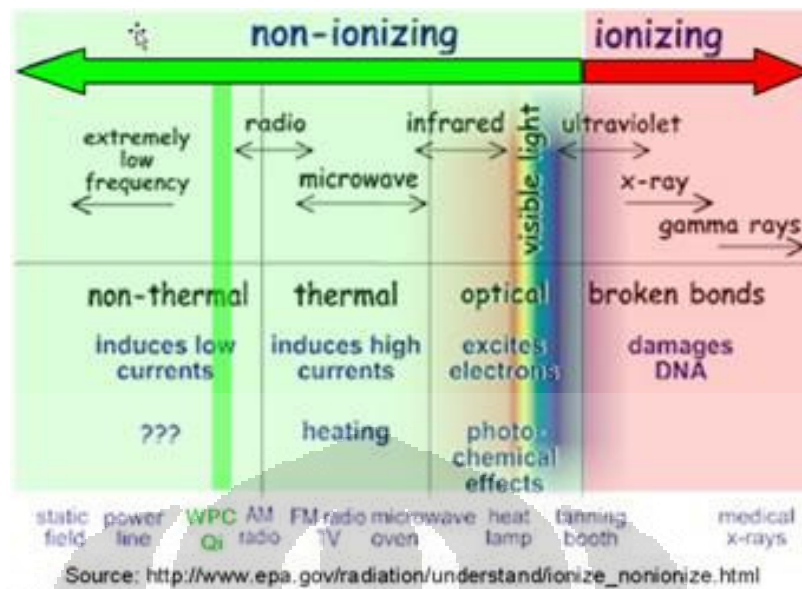
### 3.3.3 Perancangan sistem gabungan

Dalam sistem gabungan perancangan alat pengatur frekuensi kali ini, output yang diharapkan adalah mendapatkan nilai frekuensi yang sama atau mirip antara modul frekuensi eksternal & rangkaian *transmitter* pada loop pengirim, lalu nilai daya input yang dihasilkan relatif kecil. Dalam

hal ini beban yang digunakan adalah lampu LED, jadi jika lampu LED menyala sangat terang berarti rangkaian bekerja dengan baik.

Tujuan utama dari perancangan alat ini adalah agar *user* dapat melakukan *tuning/tracking* frekuensi untuk mendapatkan daya *input* seminimal mungkin, karena setiap nilai frekuensi berbeda yang dimasukkan selalu menghasilkan tegangan  $V_{rms}$  & arus yang berbeda-beda mulai dari kestabilannya, durasi kerjanya dan tingkat konsumsi daya pemakaian dari rangkaian *transmitter*nya. Dalam hal ini faktor komponen LC ikut mempengaruhi.

Selain itu, tujuan dari *tuning/tracking* alat pengatur frekuensi ini adalah untuk meningkatkan penghematan daya dari sisi jarak, karena dengan *tuning/tracking* frekuensi ini kita dapat mengaktifkan kemampuan alat tanpa harus memindahkan rangkaian *receiver* untuk mendapatkan daya yang optimal. Jika pada rangkaian *wireless power transfer* (WPT) sebelumnya untuk mendapatkan daya yang optimal jarak antara rangkaian pemancar dan rangkaian penerima harus berdekatan, namun kini jarak sudah bisa dibuat tetap dan yang perlu diubah-ubah hanya nilai frekuensinya saja. Karena besarnya nilai frekuensi mempengaruhi jarak, semakin besar nilai frekuensi maka transfer energi yang dilakukan dapat semakin jauh dan juga sebaliknya. Tetapi perubahan frekuensi disini juga dibatasi nilainya, karena ada besar frekuensi yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



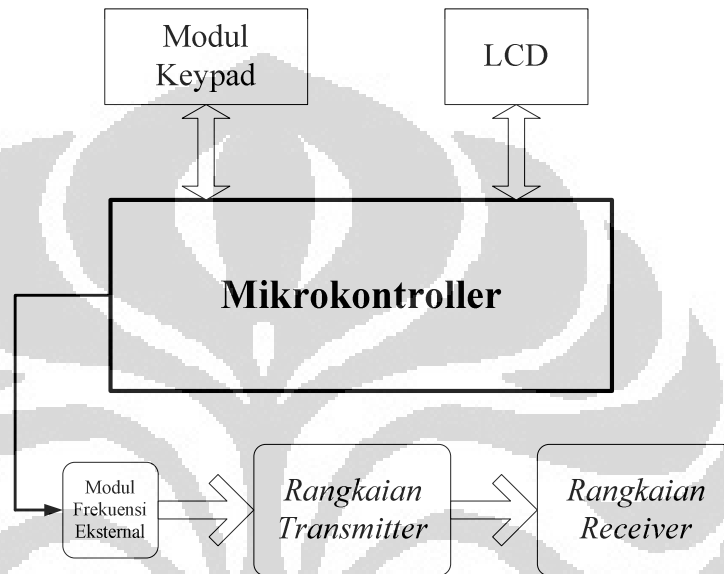
Gambar 3.8. Diagram spektrum non ionisasi & ionisasi [1]

Gambar di atas menunjukkan bahwa frekuensi yang digunakan dalam percobaan ini jauh dari radius berbahaya (WPC Qi). Lalu dengan *device* yang sudah disebutkan di atas, cara kerja dari *plant* perancangan sistem gabungan ini dimulai dari modul keypad yang berperan menjadi *input*. Dalam hal ini *input* berfungsi sebagai pembuat nilai frekuensi yang *random* bisa *direset* dan *di-set* kembali sesuai kebutuhan *user*, tetapi frekuensi maksimal hanya mencapai 10MHz kali ini. Kemudian dari modul keypad, nilai frekuensi yang sudah *diupdate* diteruskan kepada mikrokontroller. Disana hasil *input* diolah dan diproses untuk diteruskan kepada LCD dan modul frekuensi eksternal, dimana LCD akan memperlihatkan nilai frekuensi yang baru dimasukkan dan yang sudah *diupdate*.

Lalu setelah modul frekuensi eksternal menerima nilai frekuensi dan perintah dari mikrokontroller, maka frekuensi yang telah *diupdate* tersebut akan dialirkan menuju rangkaian *transmitter* berupa gelombang. Dan pada rangkaian *transmitter*, gelombang frekuensi yang diterima akan dipancarkan melalui loop pengirim.

Setelah itu, gelombang frekuensi yang dipancarkan loop pengirim akan ditangkap loop penerima dan jika memang frekuensinya sudah sesuai, maka akan terjadi resonansi antara rangkaian *transmitter* & rangkaian *receiver* yang transfer energinya tidak memboroskan konsumsi

daya sumber. Dalam hal ini dikatakan tidak umum karena biasanya untuk transfer daya nirkabel hanya diperlukan rangkaian *transmitter* dan rangkaian *receiver* saja. Namun dari hasil percobaan, alat yang sudah dirancang kali ini bekerja dengan sangat baik. Berikut ini adalah *plant* keseluruhan dari alat pengatur frekuensi:



Gambar 3.9. *Plant* alat pengatur frekuensi

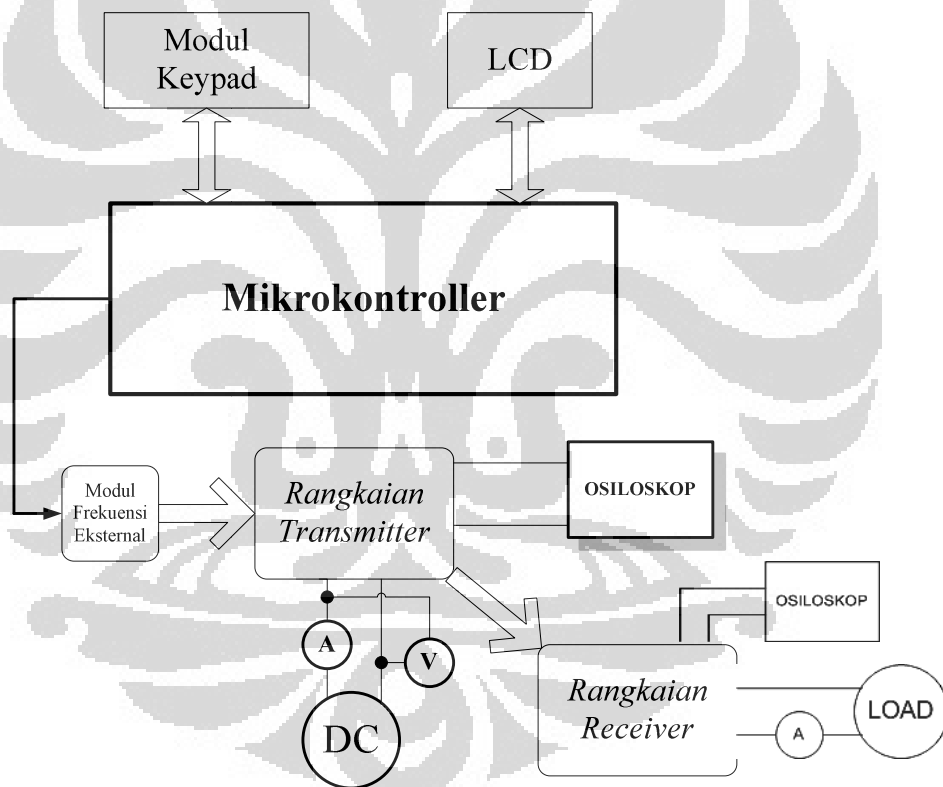
### 3.4 Metoda Pengukuran

Dalam rancang bangun alat kali ini, yang dilakukan percobaan dan uji pengukuran hanya pada rangkaian *transmitter* saja. Parameter yang diukur adalah kesesuaian nilai frekuensi antara modul frekuensi eksternal dan rangkaian pemancar, tegangan  $V_{rms}$  (osiloskop) dan arus rangkaian pemancar (multimeter). Sedangkan pada *receiver*, pengukuran yang dilakukan hanya sebatas data indikator dan perbandingan saja. Alat ukur yang digunakan dalam pengukuran kali ini berupa osiloskop digital dan multimeter.

Prosedur pengukuran yang dilakukan pertama-tama adalah pastikan bahwa mikrokontroller sudah memberi perintah kepada modul frekuensi eksternal sehingga frekuensi yang diinginkan sudah siap dikirimkan pada rangkaian *transmitter*. Pengecekan modul frekuensi eksternal dapat dilakukan menggunakan osiloskop digital dengan menghubungkan *probe* osiloskop secara parallel.



Jika sudah sesuai frekuensinya, berikutnya adalah kombinasi pemasangan multimeter yang dihubungkan secara seri pada rangkaian *power* di *transmitter* untuk mengukur arus (I) dan pemasangan multimeter yang dihubungkan secara parallel untuk mengukur tegangan masukan ( $V_{in}$ ). Lalu untuk pengukuran *output*, nilai frekuensi dan tegangan  $V_{rms}$  didapatkan pada loop pengirim rangkaian *transmitter* yang dihubungkan dengan *probe* osiloskop secara parallel. Dalam pengujiannya, nilai frekuensi di *tuning/tracking* dari 1Mhz hingga 1,39MHz dengan modul keypad. *Range* nilai frekuensi yang di *tuning/tracking* ditentukan dari rumus mencari frekuensi resonansi seperti yang sudah dibahas pada bab sebelumnya.



Gambar 3.10. *Plant* pengukuran alat pengatur frekuensi

## BAB IV

### ANALISA HASIL PENGUKURAN

Pada bab sebelumnya, telah dijelaskan tentang metoda pengukuran yang dilakukan pada rancang bangun alat kali ini bahwa percobaan dan uji pengukuran hanya difokuskan pada rangkaian *transmitter* saja. Sedangkan rangkaian *receiver* yang berupa lampu LED hanya berfungsi sebagai data pendukung dan indikator perbandingan saja. Lalu tujuan yang diharapkan dari rancang bangun alat kali ini adalah agar *user* dapat melakukan *tuning/tracking* frekuensi untuk mendapatkan daya *input* yang relatif kecil.

Sebagai perbandingan data hasil pengukuran rangkaian *Wireless Power Transfer* sebelumnya yang dilakukan pada gedung Engineering Center Lt.2 Universitas Indonesia, hanya didapatkan efisiensi sebesar 20% saja. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

**Antena Tx Tubing Copper ( V = 12 Volt)**

No	Freq ( MHz)	Pin ( Watt)	Pout (Watt)
1	1.28	10.92	2.12

Tabel 4.1. Data percobaan WPT sebelumnya

Dari tabel 4.1 di atas, dapat disimpulkan bahwa nilai frekuensi yang dihasilkan tetap sehingga mengakibatkan daya *output* juga tetap. Lalu kelemahan lainnya, jarak antara *transmitter* dan *receiver* harus selalu dekat untuk mendapatkan daya optimum, serta konsumsi daya *input* boros untuk beban *low power* (dimana lampu LED akan menyala sangat terang cukup dengan daya 3 Watt).

#### 4.1 Pengujian Rangkaian *Transmitter* (Tx) dan Analisis

Dalam pengujiannya, rangkaian *transmitter* yang diujikan terdiri atas dua macam dimana perbedaannya terdapat dalam hal bahan loop pengirim, sementara untuk *device* pendukung dan beban yang digunakan masih tetap sama. Dengan kata lain pengukuran ini mempunyai perbandingan *apple-to-apple*, hal ini

dimaksudkan untuk melihat kemampuan *tuning/tracking* frekuensi dari masing-masing rangkaian dan pengaruh pada parameter yang ditimbulkan oleh penggunaan loop pengirim yang berbeda. Pengujian itu terdiri dari:

- Pengujian rangkaian *transmitter* (Tx) dengan loop tembaga *tubing* rongga
- Pengujian rangkaian *transmitter* (Tx) dengan loop tembaga pejal.

#### 4.1.1 Uji coba dan analisis rangkaian *transmitter* (Tx) dengan loop tembaga *tubing* rongga

Sebelum melakukan pengukuran, langkah awal yang dilakukan untuk pengujian terhadap rangkaian *transmitter*, yaitu

1. Mempersiapkan *power supply*, multimeter, osiloskop digital dan alat-alat yang mungkin digunakan untuk mendukung pengukuran
2. Memastikan semua alat ukur yang akan dipakai sudah terkalibrasi dengan baik dan khususnya untuk osiloskop digital, gunakan *probe* yang kecil distorsi sehingga frekuensi dan tegangan  $V_{rms}$  lebih presisi
3. Memastikan kembali loop pengirim yang akan dijadikan pengukuran tidak mengalami cacat fisik, karena dapat mempengaruhi kemampuan sistem yang bekerja
4. Harapan yang diinginkan adalah mendapatkan frekuensi *output* pada loop pengirim yang sesuai dengan modul frekuensi eksternal dan mendapatkan konsumsi daya yang seefektif mungkin.

Setelah semua yang dibutuhkan sudah siap dan dalam kondisi baik, maka pengukuran dapat dilakukan. Untuk pengujiannya, penempatan alat ukur dan yang diukur sebenarnya sama, yang membedakannya hanya jenis bahan loop pengirim saja. Pertama-tama yang dilakukan untuk uji coba pada loop berbahan *tubing* rongga ini adalah mendapatkan nilai kapasitansi dan induktansi loop pengirim, dari nilai tersebut kita baru dapat membuat *range* nilai frekuensi yang akan diukur. Namun dikarenakan satu dan lain hal, kami tidak bisa menampilkan nilai kapasitansi dan induktansi yang diujikan. Tetapi kami akan tetap menampilkan hasil dari perhitungannya dan akan dibahas

setelah ini. Dari nilai *range* yang sudah ditentukan, didapatkan hasil pada tabel 4.2 di bawah ini:

**Antena Tx Tubing Rongga ( V = 12 Volt)**

No	Frequency drive ( MHz)	Frequency (MHz)	Pin ( Watt)	Pout (Watt)
1	1	986KHz	6.84	0.54
2	1.01	1.01	8.4	0.51
3	1.02	1.02	7.68	1.15
4	1.03	996KHz	8.64	0.95
5	1.04	1.03	10.08	0.72
6	1.05	1.06	11.88	0.94
7	1.06	1.05	12.48	0.81
8	1.07	1.04	9.96	0.93
9	1.08	1.08	19.32	0.97
10	1.09	1.09	9.6	1.02
11	1.1	1.09	4.8	0.86
12	1.11	1.1	5.04	0.97
13	1.12	1.11	3.36	1.24
14	1.13	1.08	6.24	1.10
15	1.14	1.13	5.88	1.29
16	1.15	1.14	9.96	2.19
17	1.16	1.15	12.12	1.73
18	1.17	1.16	8.4	1.94
19	1.18	1.18	8.64	1.61
20	1.19	1.19	8.04	2.40
21	1.2	1.19	8.04	2.60
22	1.21	1.19	8.64	2.66
23	1.22	1.22	7.68	2.05
24	1.23	1.22	4.32	2.24
25	1.24	1.25	7.32	3.18
26	1.25	1.24	7.32	0.87
27	1.26	1.24	7.2	1.00
28	1.27	1.26	9.6	0.62
29	1.28	1.28	6	1.61
<b>30</b>	<b>1.29</b>	<b>1.29</b>	<b>3</b>	<b>2.45</b>
31	1.3	1.3	2.16	0.87
32	1.31	1.31	2.76	1.37
33	1.32	1.31	3.48	1.69
34	1.33	1.33	3.84	1.56
35	1.34	1.34	4.2	1.49

36	1.35	1.35	4.56	1.39
37	1.36	1.36	5.16	1.29
38	1.37	1.37	5.4	1.20
39	1.38	1.38	5.64	1.10
40	1.39	1.39	5.76	0.92

Tabel 4.2. Data percobaan dengan Tx *tubing* rongga

Percobaan ini dilakukan dengan menempatkan *receiver* dalam kondisi yang tetap (tidak dipindah-pindah). Dan dari data percobaan di atas, dapat dilihat bagaimana hasil frekuensi *output* setelah dilakukan *tuning/tracking* frekuensi. Untuk kesesuaian antara frekuensi masukan dan frekuensi pada *transmitter* serta daya yang dihasilkan, dapat disimpulkan alat ini dapat bekerja sesuai yang diinginkan, walaupun kondisi penyimpangan frekuensi seperti pada 1 MHz dan 1,03 MHz masih dapat terjadi.

Namun penyimpangan yang terjadi bukan dikarenakan kegagalan alat bekerja, tetapi karena frekuensi yang dimasukkan belum resonan dengan frekuensi pada *transmitter*. Selain itu, frekuensi yang belum resonan juga mengakibatkan terjadinya konsumsi daya yang meningkat seperti pada frekuensi 1,08, 1,06 dan 1,16 MHz pada rangkaian *transmitter* dan membuat komponen cepat panas bahkan memungkinkan terjadinya *overload*. Namun hal itu sangat jarang terjadi saat nilai rangkaian *transmitter* mulai mendekati frekuensi resonan.

Kemudian *range tuning/tracking* frekuensi yang sempat disinggung di atas, dihitung melalui persamaan frekuensi resonansi, yaitu

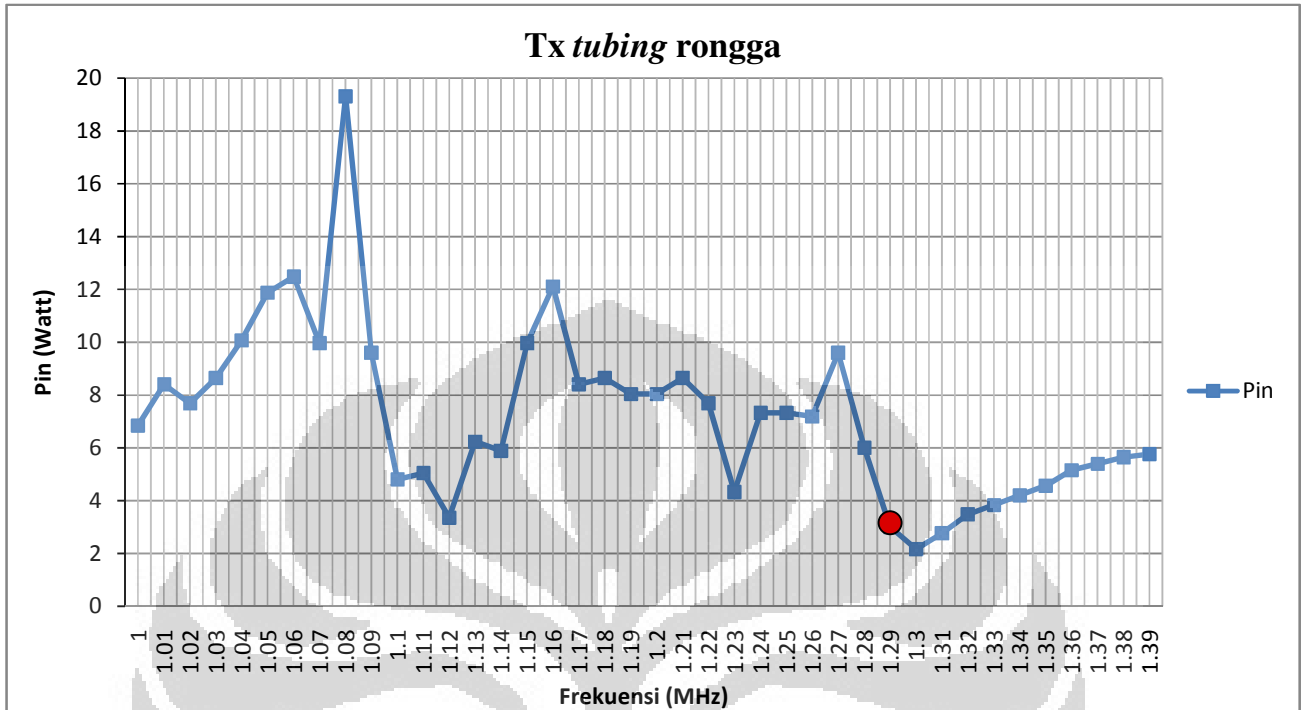
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad 4-1$$

dari rumus di atas, kami mendapatkan hitungan nilai  $f$  untuk rangkaian *transmitter* loop pengirim *tubing* rongga sebesar 1,34 MHz. Nilai frekuensi ini dijadikan sebagai titik acuan bahwa frekuensi resonansi yang bekerja berkisar antara *range* nilai tersebut. Dan setelah dilakukan pengujian, frekuensi yang tepat mengalami resonansi terdapat pada 1,29 MHz dengan daya 3 watt.

Dari hasil pengamatan, pada frekuensi tersebut, nilai tegangan  $V_{rms}$  dan arus terhitung sangat stabil. Meskipun ada kenaikan, tetapi sangat kecil dan bisa diabaikan. Nilai frekuensi tersebut dianggap yang paling resonansi, karena mempunyai daya yang relatif kecil dibandingkan pada frekuensi 1,28 MHz walaupun nyala lampu sama terangnya. Jadi dapat disimpulkan, bahwa rangkaian yang dibangun dapat melakukan sistem *tuning/tracking* frekuensi dan rangkaiannya dapat bekerja sesuai dengan yang diinginkan.



Gambar 4.1. Sketsa frekuensi resonansi pada Tx *tubing* rongga



Gambar 4.2. Pin vs Frekuensi pada Tx tubing rongga

#### 4.1.2 Uji coba dan analisis rangkaian *transmitter* (Tx) dengan loop tembaga pejal

Pada percobaan yang kedua ini, prosedur langkah awal sama dengan pengujian pertama. Perbedaannya hanya terletak pada loop pengirim rangkaian *transmitter* yang menggunakan tembaga pejal. Sama seperti halnya dengan pengujian pertama, karena satu dan lain hal kami tidak bisa menampilkan nilai induktansi dan kapasitansi untuk perhitungan mendapatkan frekuensi resonansi. Namun hasil dari perhitungan rumus frekuensi resonansi akan tetap kami tampilkan.

Tetapi sebelumnya, hasil pengukuran dari pengujian kedua diperlihatkan pada tabel 4.3.

Antena Tx Tembaga Pejal ( V = 12 Volt)

No	Frequency drive ( MHz)	Frequency (MHz)	Pin ( Watt)	Pout ( Watt)
1	1	333KHz	4.32	0.09
2	1.01	336KHz	4.32	0.09
3	1.02	800KHz	4.08	0.06
4	1.03	720KHz	4.08	0.06
5	1.04	720KHz	4.20	0.06
6	1.05	720KHz	4.68	0.08
7	1.06	1.06	5.04	0.21
8	1.07	1.06	4.80	0.23
9	1.08	1.08	5.52	0.30
10	1.09	1.08	5.40	0.37
11	1.1	1.1	4.92	0.60
12	1.11	1.11	5.28	0.28
13	1.12	1.11	4.92	0.49
14	1.13	1.12	3.96	0.52
15	1.14	1.13	4.08	0.63
16	1.15	1.14	5.52	2.00
17	1.16	1.15	5.52	1.31
18	1.17	1.17	4.80	0.27
19	1.18	1.15	5.52	0.33
20	1.19	1.16	5.76	1.38
<b>21</b>	<b>1.2</b>	<b>1.2</b>	<b>4.68</b>	<b>3.74</b>
22	1.21	1.21	3.00	0.76
23	1.22	1.22	2.52	1.10
24	1.23	1.23	2.64	1.09
25	1.24	1.24	3.00	0.92
26	1.25	1.25	3.48	0.75
27	1.26	1.26	2.40	0.23
28	1.27	1.27	2.52	0.92
29	1.28	1.28	2.52	0.19
30	1.29	1.29	2.76	1.41
31	1.3	1.3	2.64	1.13
32	1.31	1.31	3.00	1.29
33	1.32	1.33	2.88	1.62
34	1.33	1.32	2.52	0.76
35	1.34	1.34	2.88	0.48
36	1.35	1.34	3.00	0.24
37	1.36	1.35	2.76	0.06
38	1.37	1.37	2.64	0.03
39	1.38	1.33	2.76	0.06
40	1.39	1.42	2.88	0.10

Tabel 4.3. Data percobaan dengan Tx tembaga pejal

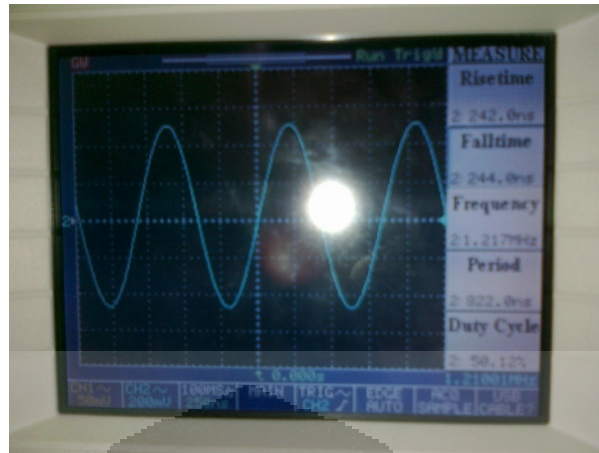


Dari hasil yang diperlihatkan tabel 4.3, dapat dilihat hasil frekuensi *output* setelah *tuning/tracking* frekuensi dilakukan. Pada tabel 4.3 di atas, nilai *range* frekuensi yang ditentukan didapat dari persamaan (4-1) sebesar 1,03 MHz untuk loop pengirim tembaga pejal. Kemudian hal yang sama dilakukan seperti saat pengujian pertama, nilai frekuensi yang di dapat dijadikan acuan kisaran untuk penentuan batas *range* kerja. Seperti terlihat pada tabel 4.3 dari hasil pengujian yang dilakukan, resonansi terjadi saat frekuensi bernilai 1,20 MHz dengan daya 4,68 watt.

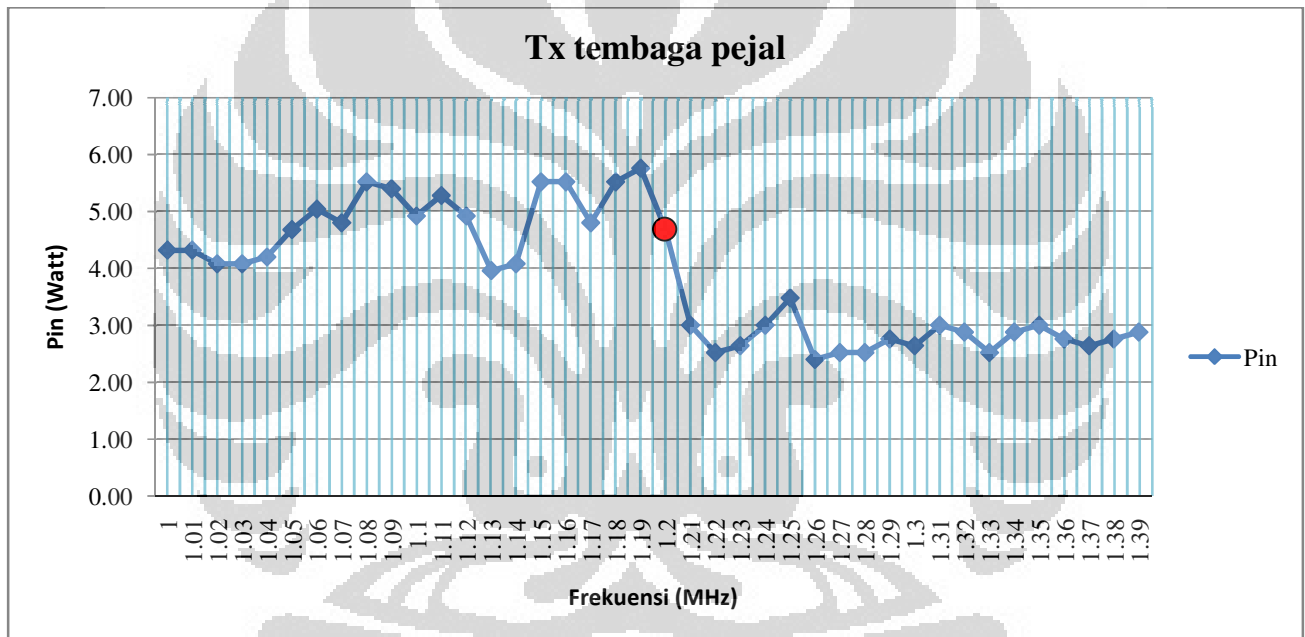
Hal yang sama terjadi untuk karakteristik parameter Tx *tubing* rongga, dimana nilai tegangan Vrms dan arus yang bekerja dinilai stabil. Dari pemantauan yang dilakukan, meskipun ada kenaikan pada arus dan tegangan Vrms, tetapi bisa diabaikan karena sangat kecil. Serta indikator *output* pada rangkaian *receiver*, yaitu lampu menyala sangat terang.

Dan terjadinya penyimpangan frekuensi beserta daya lebih mempunyai sebab yang sama dengan Tx *tubing* rongga. Tetapi diluar bahasan itu, dapat disimpulkan bahwa rangkaian yang dibangun seluruhnya dapat bekerja dengan baik karena dapat melakukan sistem *tuning/tracking* frekuensi dengan *resonant* frekuensi 1,20 MHz.





Gambar 4.3. Sketsa frekuensi resonansi pada Tx tembaga pejal



Gambar 4.4. Pin vs Frekuensi pada Tx tembaga pejal

## BAB V

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diuji dan dilakukan pengukuran pada rangkaian *transmitter wireless power transfer*, dapat disimpulkan bahwa:

1. Terbukti alat pengatur frekuensi ini dapat menghasilkan frekuensi resonansi dengan *tuning/tracking* frekuensi, dimana untuk Tx *tubing* rongga frekuensi resonansinya terjadi pada frekuensi 1,29 MHz dengan daya 3 Watt, sedangkan pada Tx tembaga pejal frekuensi resonansinya terjadi pada 1,20 MHz dengan daya 4,68 Watt.
2. Berdasarkan grafik dan hasil pengukuran rangkaian WPT yang lalu dan yang sekarang, didapatkan peningkatan efisiensi dari 20% menjadi 80%.
3. Faktor resistansi yang lebih besar pada Tx tembaga pejal mengakibatkan konsumsi daya yang dihasilkan lebih rendah dibanding Tx *tubing* rongga.

## DAFTAR REFERENSI

- [1] [www.wirelesspowerconsortium.com/technology/emf-limits-icnirp-basic-restrictions.html](http://www.wirelesspowerconsortium.com/technology/emf-limits-icnirp-basic-restrictions.html)
- [2] [weeklyautomotive.com/volvo-developed-battery-charging-system-with-no-wires.html](http://weeklyautomotive.com/volvo-developed-battery-charging-system-with-no-wires.html)
- [3] [www.mwit.ac.th/~physicslab/hbase/magnetic/indmut.html](http://www.mwit.ac.th/~physicslab/hbase/magnetic/indmut.html)
- [4] [www.wirelesspowerconsortium.com/technology/quality-factor.html](http://www.wirelesspowerconsortium.com/technology/quality-factor.html)
- [5] Seung, Hwan Lee & Lorenz, Robert D.(2010). Development and Validation of Model for 95% Efficiency, 220W Wireless Power Transfer over a 30cm Air-gap. *IEEE Journal*, 885-892.
- Kautsar, Helmi. 2010. *Analisa Perancangan Transmitter Pada Penghantar Listrik Tanpa Kabel*. Depok : Universitas Indonesia.
- Chunbo zhu., Kai liu., et al.(2008). Simulation and Experimental Analysis on Wireless Energy Transfer Based on Magnetic Resonances. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference. China*.
- Marincic, A.S. "Nikola Tesla And The Wireless Transfer Of Energy". *IEEE Transactionson Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-10., No.10 October 1982.
- Osepchuk, John M. "How Safe Are Microwaves And Solar Power From Space?". *IEEE Microwaves Magazine*, 58-64. December, 2002.
- Wenhao Zheng, et al., "A Wireless Energy Transmission System based on Electromagnetism Induction for Remote Controlled Capsule". *IEEE Journal* (2005).
- Chunbo zhu., Kai liu., et al.(2008). Simulation and Experimental Analysis on Wireless Energy Transfer Based on Magnetic Resonances. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference. China*.
- Sanghoon Cheon., et al.(2010). Circuit Model Based Analysis of a Wireless Energy Transfer System via Couple Magnetic Resonances. *IEEE Journal*, p. 1-10.

Selvakumaran, R., Liu,W, et al.(2009). Design of Inductive Coil for Wireless Power Transfer. *IEEE International conference on Advance Intelligent Mechatronic, Singapore*, p. 584-589.

Takehiro, Imura., Hiroyuki, Okabe., Yoichi Hori.(2009). Basic Experimental Study on Helical Antennas of Wireless Power Transfer for Electric Vehicles by using Magnetic Resonant Couplings. *IEEE Journal*, p. 936-940.

