

**DESAIN *WIRELESS TRANSFER ENERGY* DENGAN KOIL
TOROID DAN SELENOID MENGGUNAKAN TEKNIK
RESONANSI INDUKSI ELEKTROMAGNETIK**

(Skripsi)

Oleh

AGUNG HERU SAPUTRA



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2018**

ABSTRACT

WIRELESS TRANSFER ENERGY DESIGN WITH TOROID AND SELENOID COILS USING ELECTRONICS ENGINEERING RESONANCE TECHNIQUES

By

AGUNG HERU SAPUTRA

Electrical energy is used for numerous application such as power supply for electronic equipment, electric motors and lighting. Those various electronic devices use cables to PLN outlets when electric power is required. The use of cables in addition to the inconvenience of using the electronic equipment's, also become electronic wastes when the electronic equipment is no longer used. The ease of the electronic equipment power charging can be improved by applying wireless charging. This charging method is known as wireless energy transfer. Wireless transfer energy can recharge electronic equipment without direct electrical connection to the PLN outlet.

This thesis discusses the design of wireless power transfer module (wireless power transfer - WPT). Electrical power transfer is done by applying electromagnetic induction resonance technique. The wireless power transfer module is designed to be used to recharge a low-power electronic equipment. Wireless power transfer module constructs as toroid and solenoid coils. The number of windings were used for the toroid coil is 50 windings using 190 cm wire length and 25 windings using 95 cm wire length. Whilst the number of windings for the solenoid are 16 windings using a length of 190 cm wire and 8 windings using a length of 95 cm wire.

The research results showed the 50 windings toroid coil has efficiency of 0.0001% at 1 cm distance. The toroid coil 25 windings has efficiency of 0.00009% at 1 cm distance. Whereas the 16 windings solenoid has efficiency as 7.79% at 1 cm distance, and the efficiency of WPT module of solenoid type with 8 windings has the highest efficiency of all i.e. 28.15% at 1 cm distance.

Keywords: Wireless transfer energy, toroid coil, solenoid coil, electromagnetic induction resonance.

ABSTRAK

DESAIN *WIRELESS TRANSFER ENERGY* DENGAN KOIL TOROID DAN SELENOID MENGGUNAKAN TEKNIK RESONANSI INDUKSI ELEKTROMAGNETIK

Oleh

AGUNG HERU SAPUTRA

Energi listrik digunakan untuk beragam kebutuhan seperti catu daya peralatan-peralatan elektronik, motor listrik maupun sebagai penerangan. Berbagai peralatan elektronik menggunakan kabel penghubung ke outlet PLN saat peralatan tersebut membutuhkan daya listrik. Penggunaan kabel selain mengurangi kenyamanan penggunaan peralatan elektronik dan juga menjadi limbah elektronik saat peralatan elektronik mengalami kerusakan. Kenyamanan pengisian catu daya elektronik dapat ditingkatkan dengan menggunakan prinsip pengisian daya nirkabel (*wireless*). Cara pengisian daya dengan metode ini dikenal sebagai *wireless transfer energy*. *Wireless transfer energy* dapat mengisi ulang peralatan elektronik tanpa harus menghubungkan peralatan elektronik dengan outlet PLN secara langsung.

Skripsi ini membahas pembuatan modul transfer daya listrik nirkabel (*wireless power transfer – WPT*). Transfer daya listrik dilakukan dengan mengaplikasikan metode teknik resonansi induksi elektromagnetik. Modul transfer daya listrik nirkabel didesain untuk pengisian ulang daya pada peralatan elektronik berdaya rendah. Modul transfer daya listrik nirkabel dibuat berbentuk kumparan toroid dan selenoid. Banyaknya lilitan yang digunakan pada kumparan toroid sebesar 50 lilitan dengan panjang kawat 190 cm dan 25 lilitan dengan panjang kawat 95 cm. Sedangkan banyaknya lilitan pada kumparan selenoid sebesar 16 lilitan dengan panjang kawat 190 cm dan 8 lilitan dengan panjang kawat 95 cm.

Hasil penelitian menunjukkan kumparan toroid 50 lilitan memiliki efisiensi sebesar 0,0001 % pada jarak 1 cm. Kumparan toroid 25 lilitan memiliki efisiensi sebesar 0,00009 % pada jarak 1 cm. Sedangkan kumparan selenoid 16 lilitan memiliki efisiensi sebesar 7,79 % pada jarak 1 cm, serta efisiensi modul WPT tipe selenoid 8 lilitan memiliki efisiensi tertinggi, yakni sebesar 28,15 % pada jarak 1 cm.

Kata kunci : *Wireless transfer energy*, kumparan toroid, kumparan selenoid, resonansi induksi elektromagnetik.

**DESAIN *WIRELESS TRANSFER ENERGY* DENGAN KOIL
TOROID DAN SELENOID MENGGUNAKAN TEKNIK
RESONANSI INDUKSI ELEKTROMAGNETIK**

Oleh

AGUNG HERU SAPUTRA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

Judul Skripsi : **DESAIN *WIRELESS TRANSFER ENERGY* DENGAN KOIL TOROID DAN SELENOID MENGGUNAKAN TEKNIK RESONANSI INDUKSI ELEKTROMAGNETIK**

Nama Mahasiswa : AGUNG HERU SAPUTRA

Nomor Pokok Mahasiswa : 1215031005

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

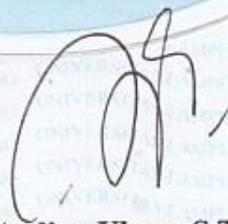
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Dr. Herman Halomoan S, S.T., M.T. **Dr. Henry B.H. Sitorus, S.T., M.T.**
NIP : 19711130 199903 1 003 NIP : 19720923 200012 1 002

2. Ketua Jurusan Teknik Elektro



Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.
NIP : 19731128 199903 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Herman Halomoan S, S.T.,M.T.**

H. Halomoan
.....

Sekretaris : **Dr. Henry B.H. Sitorus, S.T., M.T.**

H. Sitorus
.....

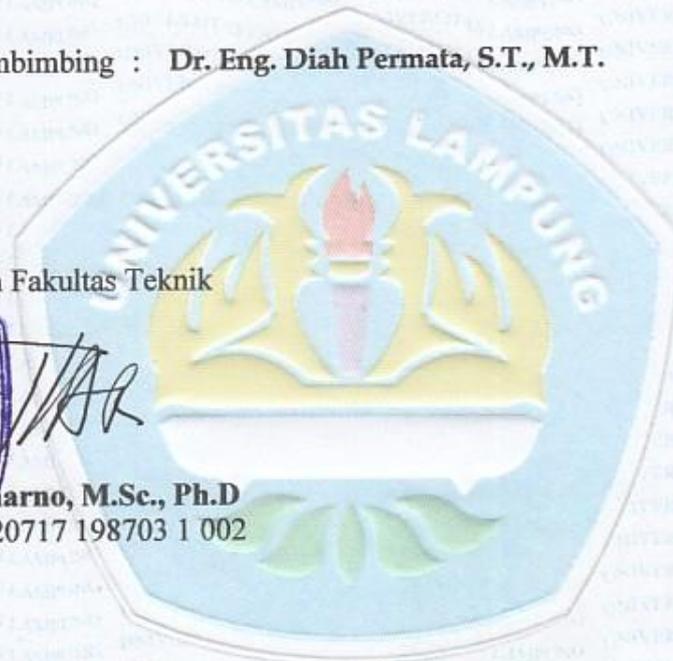
Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T.**

Diah Permata
.....



Dekan Fakultas Teknik

Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D
NID. 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 14 Desember 2017

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 30 Januari 2018



Agung Heru Saputra
NPM 1215031005

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Desa Banjar Agung, Kecamatan Seputih Mataram, Kabupaten Lampung Tengah pada tanggal 05 Maret 1994, sebagai anak kedua dari dua bersaudara, dari Bapak Sumali dan Ibu Sudilah.

Riwayat pendidikan penulis dimulai dari Sekolah Dasar Negeri (SDN) 3 Bumi Setia, Seputih Mataram Lampung Tengah pada tahun 2000 dan diselesaikan pada tahun 2006, Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 1 Seputih Mataram, Lampung Tengah dari tahun 2006 dan diselesaikan pada tahun 2009, dan Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN) 1 Seputih Mataram, Lampung Tengah dari tahun 2009 dan diselesaikan pada tahun 2012.

Tahun 2012, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung melalui jalur Undangan. Selama menjadi mahasiswa penulis terdaftar sebagai anggota organisasi intra kampus Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) Universitas Lampung sebagai Anggota Divisi Minat dan Bakat HIMATRO periode 2014-2015. Pada Agustus 2015 penulis melaksanakan kerja praktik di PT. Dian Swastatika Sentosa Serang *Power Plant*, dan membuat laporan tentang “*Load Shedding Menggunakan Under Frequency Relay Sebagai Sistem Proteksi Outgoing Feeder 20 KV PT. Dian Swastatika Sentosa Serang Power Plant*”.

PERSEMBAHAN



Dengan Ridho Allah SWT, teriring shalawat kepada Nabi Muhammad Shalallahu Alaihi W assalam Karya tulis ini kupersembahkan untuk;

*Ayah dan Ibuiku Tercinta
Sumali dan Sudilah*

*Serta Kakakku Tersayang
Esthi Kumala Sari & Jalal*

*Keponakan Tersayang
Myesha Auni Jaletsa*

*Teman-teman kebanggaanku
Rekan-rekan Jurusan Teknik Elektro*

*Almamaterku
Universitas Lampung*

*Agamaku
Islam*

*Bangsa dan Negaraku
Republik Indonesia*

*Terima-kasih untuk semua yang telah diberikan kepadaku.
Jazakallah Khairan.*



MOTTO

"Karena Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan."

(Al-Quran, Surat Al – Insyirah, 94 : 5)

*"Tuntutlah ilmu tetapi tidak melupakan ibadah, dan
kerjakanlah ibadah tetapi tidak melupakan ilmu."*

(Hasan Al-Bashri)

*Jika sore tiba janganlah tunggu waktu pagi, jika
pagi tiba janganlah tunggu waktu sore.*

*Manfaatkanlah masa sehatmu sebelum datang
masa sakitmu dan manfaatkan masa hidupmu*

sebelum tiba ajalmu"

(Umar bin Khattab)



SANWACANA

Alhamdulillahirobbil'alamiin, penulis menghaturkan puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian Tugas Akhir ini.

Tugas akhir dengan judul “**DESAIN WIRELESS TRANSFER ENERGY DENGAN KOIL TOROID DAN SELENOID MENGGUNAKAN TEKNIK RESONANSI INDUKSI ELEKTROMAGNETIK**” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Dalam masa perkuliahan dan penelitian, penulis mendapat banyak hal baik berupa dukungan, semangat, motivasi dan banyak hal yang lainnya. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.P. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Suharno, M.Sc, Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T.,M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Herman H. Sinaga, S.T.,M.T. selaku pembimbing utama skripsi yang telah dengan sabar membimbing, meberikan ilmunya, motivasi dalam hidup dan arahannya disela-sela kesibukan beliau yang sangat padat.

5. Bapak Dr. Henry B.H. Sitorus, S.T., M.T. selaku pembimbing pendamping yang telah membimbing, memberi ilmunya, serta sarannya dalam individu menyusun penelitian ini.
6. Ibu Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T. selaku dosen penguji skripsi yang telah memberikan saran, krikritikan yang sangat membangun dalam penyusunan skripsi.
7. Segenap dosen dan pegawai di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu dan wawasan yang tak terlupakan oleh penulis.
8. Ayahanda Sumali (Bapak) dan Ibunda Sudilah (Mamak). Tiada terkira jasa yang kalian berikan, hanya doa dan sedikit usaha meraih presatasi sekarang dan kedepannya serta menyelesaikan kewajiban agar terpancar senyum bangga diwajah kalian yang sangat saya impikan.
9. Saudari tercinta beserta keluarga Mba Esthi & Mas Jalal serta buah hati mereka Myesha yang selama ini telah memberikan kasih sayang, semangat, doa, nasihat serta dukungan dalam segala aspek agar selalu istiqomah dalam menuntut ilmu.
10. Ibu Iswati yang tak hentinya memberikan semangat, kasih sayang, doa, nasihat serta dukungan dalam segala aspek.
11. Teman diskusi saya sekaligus pembimbing diluar dosen saudara Suwanto, S.T yang menyempatkan waktunya disela-sela kesibukannya untuk berdiskusi dengan penulis.
12. Teman seimbangin dari kerja praktik hingga skripsi saudara Rio Andesta terimakasih atas semua jasa dan ilmunya, semoga langkah kita kedepan selalu dalam lindungan Allah SWT.
13. Teman seperjuangan dari awal sampai akhir saudara Aji Irawan dan Didi Ardiansyah terimakasih atas semua jasa dan persahabatan karena Allah SWT.

14. Teman dan rekan kosan Dzakki (Aji, Ifan Kobra, Beni Mincus, Meki, Andrian, Wisnu, Ridwan, Safe'i, Rindi, Bang Dedi, Iban) terimakasih atas cerita, tawa, berbagi ilmu, pengalaman dan silaturahmi
15. Teman-teman keluarga besar ELANG (Elektro Angkatan) 2012 terimakasih atas segala yang telah diberikan.
16. Teman hidupku (insyaallah) saudari Putri Laraswati dalam susah maupun senang, suka dan duka masih setia bersamaku. Dukungan dalam segala hal, canda tawa yang tidak akan pernah ada jika tidak bersamanya. *Thanks for everything.*

Penulis meminta maaf atas segala kesalahan dan ketidaksempurnaan dalam penyusunan tugas akhir ini. Saran dan kritik membangun sangat diharapkan penulis demi kebaikan di masa yang akan datang. Terimakasih

Bandar Lampung, Januari 2018

Penulis,

Agung Heru Saputra

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL.....	xviii
 BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Manfaat Penelitian	2
1.4 Rumusan Masalah	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Hipotesis.....	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Wireless Power Transfer</i>	5
2.1.1 Sejarah Perkembangan <i>Wireless Transfer Energy</i>	5
2.1.2 Jenis-jenis <i>Wireless Transfer Energy</i>	7
2.1.3 Prinsip Kerja <i>Wireless Transfer Energy</i>	8
2.1.4 Rancangan Kumparan Pengirim dan Penerima	10
2.2 Medan Magnet	13

2.3 Induksi Elektromagnetik	14
2.4 Resonansi Kopling Magnetik	17
2.5 Penelitian Mengenai <i>Wireless Transfer Energy</i>	19

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.2 Alat dan Bahan	23
3.3 Prosedur Kerja.....	23
3.4 Tahap – tahap Perancangan Alat	25
3.5 Perancangan Alat <i>Wireless Transfer Energy</i>	26
3.6 Pengujian Alat	31

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian dan Analisa.....	33
4.1.1 Pengujian Rangkaian Pengirim	33
4.1.2 Pengujian Rangkaian Penerima.....	36
4.1.3 Efisiensi.....	47
4.2 Perbandingan Toroid dengan Selenoid	50
4.2.1 Hubungan Daya yang diterima dengan Jarak antar Kumparan.....	51
4.2.1 Hubungan Efisiensi dengan Jarak antar Kumparan	52

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan	54
5.2 Saran.....	55

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Rangkaian <i>Wireless Transfer Energy</i>	9
2.2 Bentuk Dimensi Toroid.....	11
2.3 Bentuk Dimensi selenoid	12
2.4 Percobaan Michael Faraday	14
2.5 Fluks Magnetik pada Dua Coil	16
2.6 Rangkaian Ekuivalen Resonator Kopling.....	18
3.1 Blok Diagram Sistem	24
3.2 Diagram Alir Langkah Kerja Perancangan Alat	26
3.3 Bentuk Umum Rangkaian Umpan Balik Positif	28
3.4 Rangkaian Osilasi Coolpit.....	28
3.5 Kumparan Toroid.....	29
3.6 Kumparan Selenoid.....	29
3.7 Rangkaian Penerima	30

3.8	Rangkaian Keseluruhan	31
4.1	<i>Prototype Wireless Transfer Energy</i>	32
4.2	Pengujian Rangkaian Pengirim dengan Kumparan Toroid.....	34
4.3	Pengujian Rangkaian Pengirim dengan Kumparan Selenoid.....	35
4.4	Rangkaian Penerima.....	36
4.5	Kumparan Toroid.....	37
4.6	Gelombang Tegangan Rangkaian Penerima dengan Kumparan Toroid 50 Lilitan	38
4.7	Gelombang Tegangan Rangkaian Penerima dengan Kumparan Toroid 25 Lilitan	40
4.8	Kumparan Selenoid.....	42
4.9	Gelombang Tegangan Rangkaian Penerima dengan Kumparan Selenoid 16 Lilitan	43
4.10	Gelombang Tegangan Rangkaian Penerima dengan Kumparan Selenoid 16 Lilitan	45
4.11	Grafik Hubungan Daya Penerima dengan Jarak pada masing-masing kumparan.....	51
4.12	Grafik Hubungan Efisiensi dengan Jarak pada masing-masing kumparan.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
4.1	Hasil Pengujian Rangkaian Pengirim.....	33
4.2	Hasil pengukuran pada rangkaian penerima dengan menggunakan kumparan toroid dengan 50 lilitan	39
4.3	Hasil pengukuran pada rangkaian penerima dengan menggunakan kumparan toroid dengan 25 lilitan	41
4.4	Hasil pengukuran pada rangkaian penerima dengan menggunakan kumparan selenoid dengan 16 lilitan.....	44
4.5	Hasil pengukuran pada rangkaian penerima dengan menggunakan kumparan selenoid dengan 8 lilitan.....	46
4.6	Besar daya pengirim dan daya penerima serta efisiensi pada setiap perubahan jarak dengan kumparan toroid.....	48
4.7	Besar daya pengirim dan daya penerima serta efisiensi pada setiap perubahan jarak dengan kumparan selenoid	49

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama saat ini karena sangat banyak aktifitas yang memerlukan energi listrik. Energi listrik digunakan untuk beragam kebutuhan seperti catu daya peralatan-peralatan elektronik, motor listrik maupun sebagai penerangan. Peralatan elektronik seperti telepon genggam, kamera, komputer, notebook dan peralatan elektronik berdaya rendah lainnya merupakan contoh jenis-jenis peralatan elektronik yang sangat umum ditemui di masyarakat. Berbagai peralatan elektronik tersebut menggunakan kabel penghubung dari outlet PLN ke peralatan tersebut. Ketika peralatan elektronik tersebut dibeli konsumen, produsen selalu menyertakan kabel catu daya beserta *charger* menyertai peralatan elektronik tersebut. Dengan jumlah peralatan elektronik yang semakin banyak, maka penggunaan kabel dan *charger* akan semakin banyak pula. Karena durasi waktu pergantian peralatan elektronik relatif cepat sesuai dengan perkembangan teknologi peralatan elektronik tersebut, maka akan semakin banyak kabel catu daya dan *charger* yang tidak akan terpakai lagi.

Penggunaan kabel catu daya dan *charger* juga menuntut penempatan peralatan elektronik yang harus terhubung dengan outlet listrik PLN, saat daya peralatan elektronik tersebut perlu diisi ulang. Hal ini akan menimbulkan

ketidaknyamanan penggunaan peralatan elektronik tersebut. Sehingga perlu diupayakan metode yang dapat mengisi ulang peralatan elektronik tanpa harus menghubungkan peralatan elektronik dengan outlet PLN secara langsung menggunakan kabel catu daya.

Dalam tugas akhir ini akan dibahas pembuatan modul transfer daya listrik nirkabel (*wireless power transfer*) sebagai alternatif pengisian ulang daya peralatan elektronik berdaya rendah. Modul transfer daya listrik nirkabel yang dibuat menggunakan kumparan toroid dan selenoid.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui prinsip kerja *wireless power transfer* dengan menggunakan prinsip resonansi induksi elektromagnetik.
2. Merancang *prototype wireless power transfer* untuk peralatan berdaya rendah.
3. Menganalisis pengaruh koil toroid dan selenoid yang digunakan.
4. Menganalisis efisiensi *wireless power transfer* dengan beban 5 V dan jarak sejauh 1-10 cm.
5. Membandingkan efisiensi dan daya pada koil toroid dan selenoid.

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui prinsip kerja *wireless power transfer* dengan menggunakan prinsip resonansi induksi elektromagnetik yang dapat diaplikasikan sebagai pengisi baterai pada peralatan berdaya rendah serta dapat mengurangi jumlah pemakaian kabel.

1.4. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana Cara membuat *prototype wireless transfer energy* dengan menggunakan prinsip resonansi induksi elektromagnetik untuk beban 5 volt dengan jarak 1-10 cm.
2. Menentukan pengaplikasian WPT untuk peralatan elektronik berdaya rendah.
3. Menganalisis pengaruh penggunaan koil toroid dan selenoid.
4. Menganalisis bagaimana kinerja pengiriman energi listrik terhadap efisiensi dan jangkauan dari WPT ini.

1.5. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian yang dilakukan adalah *wireless transfer energy* hanya dengan menggunakan prinsip resonansi induksi elektromagnetik.
2. Membuat *prototype wireless transfer energy* untuk beban 5 volt dengan jarak 1-10 cm.
3. Bentuk kumparan yang digunakan adalah toroid dan selenoid.

1.6. Hipotesis

Rancangan *prototype wireless transfer energy* pada penelitian ini mengacu pada prinsip resonansi induksi elektromagnetik. Rangkaian *wireless transfer energy* ini terdiri dari rangkaian pengirim dan rangkaian penerima. Besarnya energi yang diterima pada sisi penerima akan mendekati energi yang dikirimkan pada sisi pengirim sesuai dengan jarak antara kedua kumparan.

1.7. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memuat tentang latar belakang masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, hipotesis dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat tentang teori-teori yang mendukung dalam perancangan dan realisasi alat serta *review* hasil penelitian para peneliti *wireless transfer energy* terdahulu sampai saat ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian, diantaranya waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, komponen serta perangkat penelitian, prosedur kerja, perancangan, dan pengujian alat.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang prosedur pengujian, hasil pengujian dan analisa terhadap data hasil pengujian yang diperoleh.

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi simpulan yang diperoleh dari pembuatan dan pengujian alat serta saran yang bisa digunakan sebagai masukan untuk pengembangan lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian tugas akhir ini membahas perancangan *prototype wireless transfer energy* menggunakan koil toroid dan selenoid untuk transfer energi dengan teknik resonansi induksi elektromagnetik. Prototipe yang dirancang ditujukan untuk peralatan berdaya rendah. Prototipe yang dihasilkan akan dianalisa keberhasilan dan efisiensi jenis koil yang digunakan yaitu koil dengan inti udara dan koil dengan inti besi, serta menganalisa efisiensi terhadap pengaruh jarak yang digunakan yaitu 1-10 cm.

2.1. *Wireless Transfer Energy*

Wireless transfer energy merupakan proses transmisi energi listrik dari sumber tegangan ke beban tanpa menggunakan perantara seperti konduktor atau kabel listrik. Pada *wireless transfer energy* ini, sumber pemancar mentransmisikan daya listrik menggunakan medan elektromagnetik ke sebuah perangkat penerima. Pada sistem transmisi energi, jumlah daya yang diterima oleh *receiver* merupakan hal yang sangat penting sehingga efisiensi adalah parameter yang sangat perlu diperhatikan.

2.1.1. Sejarah Perkembangan *Wireless Transfer Energy*

Wireless transfer energy merupakan proses dimana energi listrik yang ditransmisikan dari sumber menuju beban tanpa menggunakan kabel (nirkabel). Dewasa ini, *wireless transfer energy* mulai banyak dikembangkan, tujuannya

adalah untuk meningkatkan kenyamanan dan mengurangi jumlah pemakaian kabel. Pada tahun 1893, Nicola Tesla seorang ilmuwan yang pertama kali mendemonstrasikan eksperimen mengenai *wireless power transfer*. Tesla menciptakan sebuah metode dimana energi yang dapat disalurkan dari jarak jauh tanpa menggunakan kabel dengan membangun menara *Wardenclyffe* di Shoreham, Long Island yang berfungsi sebagai telekomunikasi nirkabel dan pengiriman daya listrik. Tesla berhasil mengirimkan energi listrik sejauh 47 meter untuk menyalakan sebuah lampu pijar. Namun kapasitas energi yang dikirimkan oleh Tesla masih tergolong rendah jika dibandingkan dengan ukuran menara yang mencapai 167 meter[5].

Pada tahun 1904 dipameran St. Louis World's, sebuah kapal terbang diterbangkan kurang lebih sejauh 30 meter menggunakan transmisi energi yang dipancarkan melewati ruang dengan daya motor 75 watt. Pada tahun 1975, para peneliti di Goldstone (California) membuat penemuan yang dapat mentransfer energi mencapai kilowatt menggunakan transmisi gelombang mikro dengan jarak mencapai satu kilometer.

Pada abad ke-21, tepatnya pada tahun 2007 sekelompok ilmuwan dari MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) membuat sebuah sistem transmisi daya listrik dengan menggunakan "*strongly coupled magnetic resonance*". Percobaan tersebut dilakukan dengan menggunakan dua buah koil yang dihantarkan sebuah tegangan beresonansi sehingga tercipta sebuah medan elektromagnet yang cukup kuat. Dari percobaan ini, tim MIT dapat mentransmisikan daya yang cukup besar dengan kemampuan transmisi sekitar 60 watt dengan efisiensi sekitar 40% pada jarak 2 meter. Penelitian *wireless power transfer* yang dilakukan oleh Marrin

Soljacic dari MIT yang diberi nama *WiTricity* pada tahun 2007. Saat melakukan penelitian, Marris menggabungkan teori resonansi dan kopling induktif atau disebut resonansi kopling induktif (RIC). Fungsi resonansi adalah untuk meningkatkan efisiensi jarak garis gaya medan magnet dan memperluas jarak antara pengirim dan penerima dengan frekuensi yang sama. Marris mampu mengirimkan energi dengan jarak mencapai 2 meter dengan efisiensi mencapai 40% menggunakan frekuensi antara 1 MHz-10 MHz[7].

2.1.2. Jenis-jenis *Wireless Transfer Energy*

Berdasarkan klasifikasinya, *wireless transfer energy* dibagi menjadi 2, yaitu sebagai berikut[2]:

a. Medan dekat (*near field*) atau *Non radiative techniques*

Wireless transfer energy untuk medan dekat mentransmisikan energi jarak dekat dengan menggunakan prinsip kopling induktif antara kumparan atau dalam beberapa peralatan oleh medan listrik dengan menggunakan kopling kapasitif antara elektroda. Pengembangan teknik medan dekat ini lebih fokus ke charging untuk peralatan komputasi mobile seperti ponsel, komputer portabel, dan kamera.

b. Medan jauh (*power beaming*) atau *Radiative techniques*

Wireless transfer energy untuk medan jauh mentransmisikan energi listrik menggunakan sinar (*beams*) dari radiasi elektromagnetik seperti gelombang mikro atau sinar laser. Pengembangan dengan teknik medan jauh sampai saat ini adalah satelit tenaga surya dan pesawat *drone wireless power*.

Dengan beberapa teknik tersebut, *wireless transfer energy* memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan. Kelebihannya adalah perangkat elektronik lebih nyaman

digunakan dengan menghilangkan kebutuhan akan pemakaian kabel listrik sehingga kecil kemungkinan akan terjadinya kegagalan daya yang disebabkan *short circuit*. Sedangkan kelemahannya adalah dapat menyebabkan gangguan pada sistem komunikasi, realisasi dalam skala besar membutuhkan biaya yang cukup mahal serta efisiensinya masih tergolong cukup rendah.

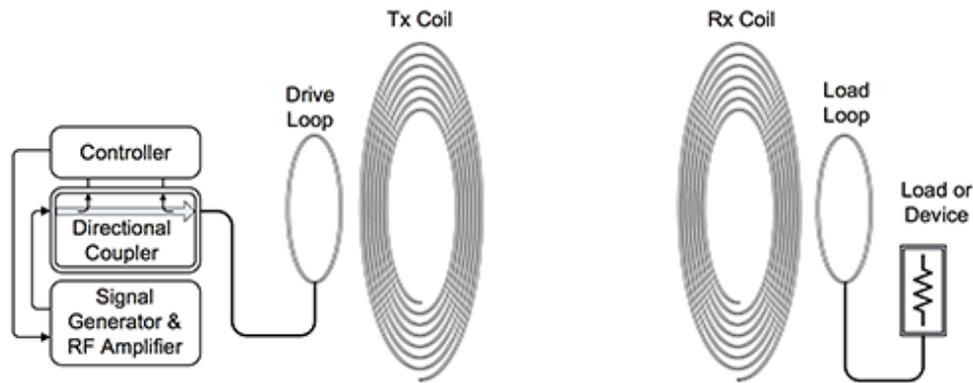
2.1.3. Prinsip Kerja *Wireless Transfer Energy*

Pada dasarnya prinsip kerja dari *wireless transfer energy* mengikuti hukum maxwell dan Ampere yang ditunjukkan pada persamaan dibawah ini[10]:

$$\nabla \times E = \frac{\partial B}{\partial t} \quad (\text{Persamaan Maxwell}) \quad (1)$$

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial B}{\partial t} \quad (\text{Hukum Ampere}) \quad (2)$$

Maxwell membuat hipotesa bahwa medan listrik yang berubah terhadap waktu akan menghasilkan medan magnet, sebaliknya medan magnet yang berubah terhadap waktu akan menghasilkan medan listrik. Sedangkan hukum ampere menyatakan bahwa medan magnet dapat ditimbulkan melalui arus listrik (perumusan awal hukum ampere) dan dengan mengubah medan listrik (tambahan maxwell). Hipotesa maxwell ini kemudian menjadi sebuah hukum yang menghubungkan antara kelistrikan dan kemagnetan. Jadi, pada prinsipnya adalah medan listrik yang berubah-ubah terhadap waktu dapat menghasilkan medan magnet. Prinsip ini pada dasarnya merupakan pengembangan dari rumusan hukum ampere.



Gambar 2.1 Rangkaian *Wireless Transfer Energy*

Prinsip kerja *wireless transfer energy* hampir sama dengan transformator. Proses transfer energi terjadi ketika sumber tegangan menyalurkan arus bolak-balik ke rangkaian pengirim, maka pada rangkaian kumparan pengirim akan menghasilkan medan magnetik disekeliling kumparan. Medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan akan menciptakan garis-garis medan magnetik. Medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan pengirim ini kemudian akan menginduksi rangkaian penerima dengan syarat kumparan penerima harus berada diarea garis gaya medan magnetik kumparan penerima[4].

Pada rangkaian pengirim akan terjadi perubahan nilai tegangan sehingga menimbulkan perubahan medan listrik yang mengalir dirangkaian pengirim. Perubahan medan listrik terhadap waktu menimbulkan perubahan fluks magnetik disekeliling kumparan. Perubahan medan magnet pada kumparan pengirim tersebut menimbulkan berubahnya medan yang diinduksi pada kumparan penerima. Perubahan tersebut menghasilkan berubahnya medan magnet pada kumparan pengirim. Medan magnet pada kumparan penerima yang berubah-ubah terhadap waktu akan menghasilkan medan listrik dan menimbulkan tegangan induksi pada rangkaian kumparan penerima.

2.1.4. Rancangan Kumparan Pengirim dan Penerima

Dimensi belitan pengirim dan penerima akan menentukan besar induktansi belitan[8]. Induktansi belitan dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$L = \frac{(r.N)^2}{22.9 r + 25.4 l} \quad (3)$$

Keterangan: L = Induktansi (H)
 r = Jarak antar kumparan (cm)
 N = Jumlah putaran belitan
 ℓ = Panjang lilitan (cm)

Dalam penelitian ini, koil yang digunakan berbentuk toroid dan selenoid.

a) Toroid adalah sebuah selenoid yang dilengkungkan sehingga berbentuk kumparan melingkar[8]. Untuk belitan berbentuk toroid, rumus nilai induktansinya dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$L = \frac{\mu_0 N^2 (sH)}{2\pi r} \quad (4)$$

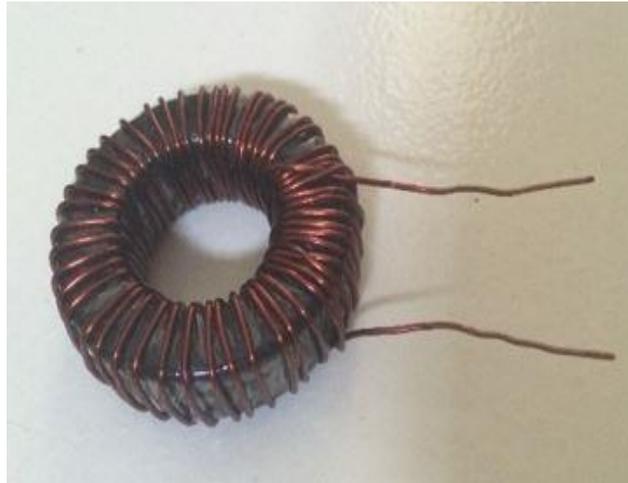
Keterangan : L = Induktansi
 μ_0 = Permeabilitas ruang hampa
 s = Diameter luar – diameter dalam
 H = Tinggi inti
 N = Jumlah lilitan
 r = Jari-jari gulungan

Besarnya medan magnet ditengah-tengah toroid dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (5)$$

Keterangan : B = Medan magnet ditengah toroid dalam tesla (T)

μ_0 = Permeabilitas ruang hampa
 I = Kuat arus (A)
 r = Jari-jari gulungan



Gambar 2.2 Bentuk Dimensi Toroid

b) Untuk kumparan selenoid, rumusan nilai induktansi dapat dilihat dalam persamaan berikut:

$$L = \frac{\mu_0 N^2 A}{\ell} \quad (6)$$

Keterangan : L = Induktansi
 μ_0 = Permeabilitas ruang hampa
 N = Jumlah lilitan
 A = Luas penampang
 ℓ = Panjang kawat

Besarnya medan magnet selenoid dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$B = \frac{\mu_0 I N}{\ell} \quad (7)$$

Keterangan : B = Medan magnet ditengah toroid dalam tesla (T)

μ_0 = Permeabilitas ruang hampa
 I = Kuat arus (A)
 N = Jumlah lilitan
 ℓ = Panjang kawat



Gambar 2.3 Bentuk Dimensi Selenoid

Nilai kapasitansi pada kumparan antenna dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (8)$$

Keterangan : f = Frekuensi (Hz)

L = Induktansi (H)

C = Kapasitansi (F)

Dengan f adalah frekuensi osilasi, disesuaikan dengan frekuensi sistem transfer energi yang diinginkan dan merupakan frekuensi tinggi dalam orde Mhz. Penggunaan frekuensi tinggi dimaksudkan untuk memperkecil dimensi rangkaian transfer energi. Untuk faktor kualitas pada resonator kumparan dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut:

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (9)$$

Keterangan : Q = Faktor kualitas kumparan

L = Induktansi

C = Kapasitor

Dalam penelitian tugas akhir ini akan dilakukan perancangan *prototype wireless transfer energy* menggunakan koil toroid dan selenoid. Tegangan yang akan dikirimkan ke beban sebesar 12 volt dengan jarak 1-10 cm. *Wireless transfer energy* ini dilakukan dengan menggunakan teknik resonansi induksi elektromagnetik. Teknik resonansi induksi elektromagnetik merupakan *wireless transfer energy* untuk medan dekat. Medan dekat dapat beroperasi saat sinyal yang dikirimkan tidak melebihi satu kali panjang gelombang elektromagnetiknya. Metode ini sangat efisien karena hanya dengan jarak yang dekat[3].

2.2. Medan Magnet

Interaksi antar kutub magnet terjadi karena adanya penghubung berupa medan, yang disebut medan magnet. Medan magnet (B) dapat ditentukan, baik besar maupun arahnya dengan menempatkan muatan (q) didalam B pada berbagai arah kecepatan (v) dan diukur gaya magnet yang dialami oleh q , yaitu F_{mq} . Besarnya medan magnet disebut kuat medan magnet yang ber lambang B . Jika v sejajar atau berlawanan arah terhadap B , maka $F_{mq} = 0$. Hal ini ditampilkakan oleh lintasan q yang bergerak lurus pada kecepatan tetap atau disebut gerak lurus beraturan (GLB). Hubungan antara F_{mq} , q dan B dinyatakan:

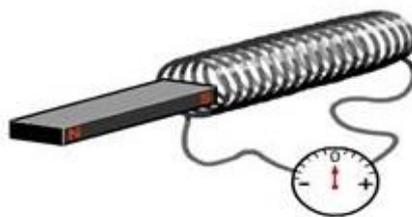
$$F_{mq} = qv \times B \quad (10)$$

Medan magnet (B) dapat digambarkan sebagai garis medan magnet, dengan arah B disetiap titik searah dengan arah anak panah titik itu. Besarnya medan magnet (kuat medan magnet) sebanding dengan rapat garis medan magnet per satuan luas. Garis medan magnet selalu membentuk loop atau lintasan tertutup. Medan magnet

merupakan besaran vektor, sehingga disebuah titik yang disebabkan oleh sejumlah muatan listrik yang bergerak merupakan hasil penjumlahan secara vektor.

2.3. Induksi Elektromagnetik

Pada tahun 1830-an beberapa eksperimen perintis induksi secara magnetik dilakukan di Inggris oleh Michael Faraday dan Joseph Henry (1797-1878) berkebangsaan Amerika, percobaannya mengenai sebuah kawat yang disambungkan ke sebuah galvanometer. Untuk membuktikan kebenaran hipotesisnya, Faraday melakukan percobaan yang ditunjukkan pada Gambar 2.3, bahwa gerakan magnet didalam kumparan menyebabkan jarum galvanometer menyimpang. Jika kutub utara magnet digerakkan mendekati kumparan, jarum galvanometer menyimpang ke kanan. Jika magnet diam dalam kumparan, jarum galvanometer tidak menyimpang. Kemudian kutub utara digerakkan menjauhi kumparan, jarum galvanometer menyimpang ke kiri. Penyimpangan jarum galvanometer tersebut menunjukkan bahwa pada kedua ujung kumparan terdapat arus listrik.



Gambar 2.4 Percobaan Michael Faraday [3]

Peristiwa timbulnya arus listrik seperti itulah yang disebut induksi elektromagnetik. Adapun beda potensial yang timbul pada ujung kumparan disebut gaya gerak listrik (GGL) induksi. GGL induksi terjadi jika kutub utara magnet didekatkan ke kumparan. Jumlah garis gaya yang masuk kumparan semakin

banyak. Perubahan jumlah garis gaya inilah yang menyebabkan terjadinya penyimpangan jarum galvanometer. Hal yang sama juga akan terjadi jika magnet digerakkan keluar dari kumparan, namun arah simpangan jarum galvanometer akan berlawanan dengan penyimpangan semula. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penyebab timbulnya GGL induksi adalah perubahan garis gaya magnet yang dilingkupi oleh kumparan. Menurut Faraday besar GGL induksi pada kedua ujung kumparan sebanding dengan laju perubahan fluks magnetik yang dilingkupi kumparan. Fluks magnetik merupakan banyaknya garis gaya magnet yang menembus suatu bidang. Dengan kata lain, semakin cepat terjadinya perubahan fluks magnet, maka semakin besar GGL induksi yang ditimbulkan. Besarnya tegangan induksi dinyatakan dalam persamaan:

$$\mathcal{E}_{\text{induksi}} = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (11)$$

Keterangan: $\mathcal{E}_{\text{induksi}}$ = GGL induksi (V)

N = Jumlah lilitan

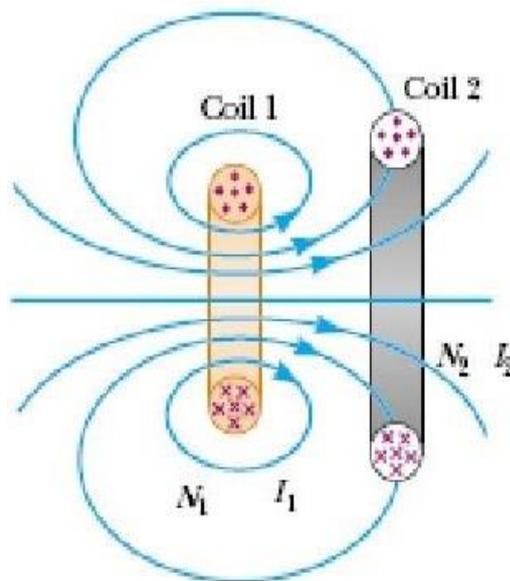
$d\phi$ = Perubahan garis gaya (weber)

dt = Selang waktu (detik)

Fluks magnetik (ϕ) adalah kerapatan garis gaya dalam medan magnet. Fluks magnetik yang berada pada permukaan yang lebih luas, kerapatan garis gaya dalam magnet menjadi rendah dan kuat medan magnet (B) menjadi lebih lemah. Sedangkan pada permukaan (A) yang lebih sempit kerapatan garis gaya dalam magnet menjadi kuat dan kuat medan magnetik (B) menjadi lebih tinggi. Besar fluks magnetik dinyatakan dalam persamaan:

$$\phi = B \cdot A \text{ (Weber)} \quad (12)$$

Fluks magnetik pada dua koil ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Fluks Magnetik Pada Dua Koil [10]

Tanda negatif berarti GGL induksi selalu membangkitkan arus yang medan magnetnya berlawanan dengan sumber perubahan fluks magnetik (Hukum Lenz). Perubahan fluks tersebut dapat disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya adalah sebagai berikut:

- Koil tidak berubah terhadap fluks dan magnitudo fluks berubah terhadap waktu.
- Fluks tidak berubah terhadap waktu dan koil bergerak pada fluks tersebut.
- Kedua perubahan yang disebutkan diatas muncul bersamaan, dengan kata lain koil bergerak dalam waktu yang terus berjalan.

Menurut teori tersebut maka sistem *wireless transfer energy* dengan memanfaatkan induksi magnetik mungkin dapat diwujudkan karena koil pertama akan menghasilkan perubahan fluks terhadap waktu yang menginduksi koil kedua sehingga akan muncul arus induksi pada koil kedua, kemudian akan terjadi transfer energi listrik antara kedua koil tersebut.

2.4. Resonansi Kopling Magnetik

Resonansi kopling magnetik dengan menggunakan konsep dasar kopling gelombang evanescent yang menghasilkan dan mengirimkan energi listrik diantara dua kumparan resonansi melalui medan yang berisolasi. Dengan menggunakan frekuensi resonansi yang sama, kumparan resonansi membuat kopling yang terjadi sangat kuat sehingga dapat mencapai efisiensi yang tinggi[6].

Resonator terisolasi dapat dideskripsikan dengan dua parameter yaitu frekuensi resonansi (ω_0) dan tingkat kerugian intrinsiknya (Γ). Rasio dari dua parameter ini mendefinisikan faktor kualitas (Q) dari resonator ($Q=\omega_0/2\Gamma$) untuk menyatakan seberapa baik dalam menyimpan energi.

Untuk menganalisa model resonansi magnetik dapat digunakan CMT (*Coupled Mode Theory*) yaitu dapat diturunkan sebagai berikut:

Persamaan yang terjadi pada Sumber (S), adalah:

$$\frac{da_s}{dt} = -i(\omega - i\Gamma)a_s + ika_D \quad (13)$$

Persamaan yang terjadi pada perangkat (beban) adalah:

$$\frac{da_D}{dt} = -i(\omega - i\Gamma)a_D + ika_s \quad (14)$$

Sehingga faktor kualitas dari resonator tersebut adalah:

$$Q = \frac{\omega}{2\Gamma} \quad (15)$$

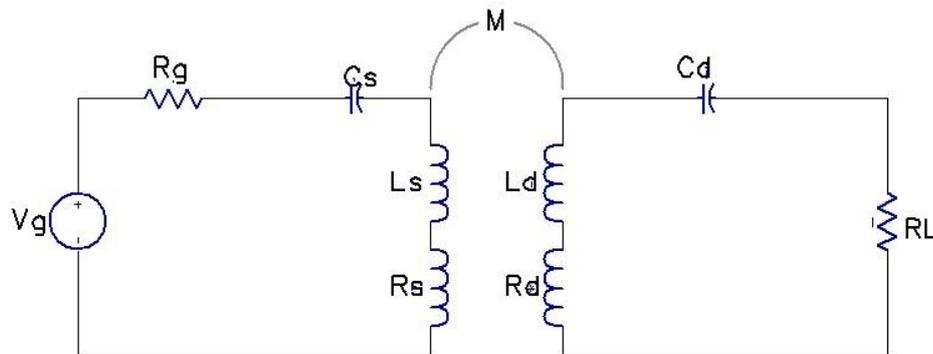
Saat $\omega_1 = \omega_2$ dan $\Gamma_1 = \Gamma_2$

Energi yang ditransmisikan akan maksimal atau efisien ketika:

$K \ll \Gamma_{1,2}$ atau kopling *rate* lebih besar dari semua total *loss rate* $K/\Gamma_{1,2} \ll 1$

Saat terjadi kondisi seperti di atas disebut kondisi *strong coupling*. Pada kondisi inilah terjadi transfer energi secara efisien, dengan kata lain tidak banyaknya energi yang terbuang saat *strong coupling*[1].

Rangkaian ekuivalen untuk *coupled resonator* adalah rangkaian resonansi yang diserikan, dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Rangkaian Ekuivalen Resonator Kopling

Pembangkitnya adalah sumber tegangan sinusoidal dengan amplitudo V_g pada frekuensi ω dengan resistansi pembangkit R_g . Sumber dan perangkat kumparan resonator diwakili oleh induktor L_s dan L_d yang dipasangkan melalui induktansi bersama M , dan $M = K \sqrt{L_s L_d}$. Setiap kumparan memiliki kapasitor seri untuk membentuk resonator[9].

Analogi dari resonansi frekuensi adalah saat seorang penyanyi opera yang mampu memecahkan gelas yang berada dekat dengan penyanyi tersebut, karena suara yang dikeluarkan memiliki frekuensi yang sama dengan gelas tersebut. Perangkat ini terdiri dari pemancar dan penerima yang memiliki frekuensi kerja yang sama. Saat perangkat penerima berada pada jangkauan pemancar, maka energi seolah-olah loncat dari pemancar ke penerima.

2.5. Penelitian Mengenai *Wireless Transfer Energy*

1. Penelitian oleh Berri M Panggabean dalam "*Perancangan Sistem Transfer Energi Secara Wireless Dengan Menggunakan Teknik Resonansi Induktif Medan Elektromagnetik*" membahas mengenai perancangan sistem transfer energi secara *wireless* dengan menggunakan teknik resonansi induksi medan elektromagnetik. Penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan kumparan selenoid dengan merubah tegangan input dan sudut kemiringan. Pengujian dilakukan menggunakan adaptor tegangan DC dengan tegangan sebesar 11 V dan 13 V. Hasil dari pengujian berdasarkan perubahan jarak dengan tegangan input 11 V menghasilkan tegangan paling besar 26,4 V pada jarak 1 cm dan tegangan paling kecil 0,07 V pada jarak 15 cm. Sedangkan dengan menggunakan tegangan input 13 V menghasilkan tegangan paling besar 29,9 V pada jarak 1 cm dan tegangan paling rendah 0 V pada jarak 15 cm. Hasil pengujian berdasarkan perubahan sudut yaitu 10^0 - 90^0 dengan tegangan input 11 V tegangan paling besar 22,7 V pada sudut kemiringan 10^0 dan tegangan paling kecil 10,9 V pada sudut kemiringan 90^0 . Sedangkan dengan tegangan input 13 V menghasilkan tegangan paling besar 27,2 V pada sudut kemiringan 10^0 dan tegangan paling rendah 12,2 V pada sudut kemiringan 90^0 . Setelah dilakukan perbandingan pada setiap perubahan jarak dan perubahan sudut diketahui bahwa semakin besar jarak dan sudut kemiringan antar kumparan, maka semakin kecil tegangan yang mampu ditrasfer secara *wireless*. Perbedaan penelitian ini adalah pada besarnya tegangan input yang digunakan, jenis dan dimensi kumparan serta sudut kemiringan[3].

2. Penelitian oleh Syed Khalid Rahman et al mengenai "*Design and construction of wireless power transfer system using magnetic resonant coupling*"

mendeskripsikan perancangan sistem transfer energi secara *wireless* dengan menggunakan teknik resonansi kopling magnetik. Penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan dua variasi kumparan selenoid pada rangkaian penerima, besarnya tegangan input 15 V dengan merubah jarak antar kedua kumparan. Efisiensi paling besar pada kumparan penerima 1 adalah 95,12 % pada jarak 4 cm dan efisiensi paling kecil adalah 1,72 % pada jarak 22 cm. Sedangkan efisiensi paling besar pada kumparan penerima 2 adalah 48,05 % pada jarak 5 cm dan efisiensi paling kecil adalah 0,0007 % pada jarak 40 cm. Setelah dilakukan perbandingan pada setiap perubahan jarak dan pengaruh jenis kumparan diketahui bahwa semakin besar jarak antar kumparan, maka semakin kecil tegangan yang mampu dikirimkan. Perbedaan penelitian ini adalah pada besarnya tegangan input yang digunakan, jenis dan dimensi kumparan serta variasi jarak antar kedua kumparan[11].

3. Penelitian oleh Toto Supriyanto dan Asri wulandari mengenai “*Rancang Bangun Wireless Power Transfer (WPT) Menggunakan Metode Multi Magnetic Resonator Coupling*” mendeskripsikan perancangan sistem transfer energi secara *wireless* dengan menggunakan metode multi resonansi kopling magnetik. Penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan dua variasi kumparan antenna berbahan tembaga dan antenna berbahan aluminium, dengan merubah jarak antar kedua kumparan dan dengan kombinasi antenna *transmitter* dan *receiver*. Dari hasil percobaan, kombinasi *transmitter-receiver* yang berbahan aluminium-aluminium mengungguli ketiga kombinasi yang lain. Efisiensi pada jarak 20 cm mencapai 10,80% dan pada jarak 40 cm sekitar 4,32 %. Sedangkan kombinasi tembaga-tembaga memiliki efisiensi 7,46 % pada jarak 20 cm dan 2,32 % pada jarak 40 cm. Hal ini sebanding dengan

konsumsi daya *transmitter* berbahan aluminium yang lebih tinggi dibandingkan *transmitter* berbahan tembaga. Penggunaan antena *transmitter* berbahan aluminium akan meningkatkan efisiensi dibandingkan saat menggunakan antena *transmitter* berbahan tembaga. Efisiensi pada kombinasi silang antara antena pemancar tembaga dan antena penerima aluminium memiliki efisiensi 7,51 % pada jarak 20 cm dan 2,26 % pada jarak 40 cm. Sedangkan efisiensi kombinasi silang antara antena pemancar aluminium dan antena penerima tembaga memiliki efisiensi 10,30 % pada jarak 20 cm dan 3,5 % pada jarak 40 cm. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa efisiensi yang menggunakan antena berbahan aluminium lebih tinggi dibandingkan menggunakan antena berbahan tembaga hal ini diakibatkan oleh perbedaan nilai induktansi kedua material antena yang digunakan pada ukuran yang sama. Perbedaan penelitian ini adalah pada besarnya tegangan input yang digunakan, jenis dan dimensi kumparan serta variasi jarak antar kedua kumparan[6].

4. Penelitian oleh Hee Jin Lee mengenai et al "*Electromagnetically Coupled Resonators Using Toroidal Ferrite Core for Wireless Power Transfer*" mendeskripsikan tentang pengiriman energi secara *wireless* dengan menggunakan kumparan toroid tipe (T107/65/25-3F4) besarnya diameter luarnya adalah 107 mm, diameter dalam 65 mm dan tinggi 25 mm. Penelitian dilakukan dengan merubah frekuensi antara 0 - 1,5 MHz dengan *range* 500 KHz serta merubah jarak antara kedua kumparan. Dari hasil percobaan diperoleh frekuensi optimal 500 KHz dengan magnitude 8,3 pada jarak 3 cm. Ketika frekuensi kurang dari 500 KHz magnitude akan semakin besar sedangkan saat frekuensi melebihi 500 KHz magnitude akan semakin menurun. Begitu pula saat jarak antara kedua kumparan

dijauhkan maka magnitude akan semakin menurun. Perbedaan penelitian ini adalah pada jenis dan dimensi kumparan yang digunakan, besarnya frekuensi yang digunakan serta variasi jarak antar kedua kumparan[12].

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan mulai dari September 2016 hingga September 2017 bertempat di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Adapun peralatan dan bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Kawat email
2. Kern toroid
3. Resistor 1Ω , 68Ω , $33\text{K}\Omega$, dan $100\text{K}\Omega$
4. Transistor 2N2222
5. Induktor $150\mu\text{H}$
6. Kapasitor $2,2\text{nF}$, $4,7\text{nF}$ dan 10nF
7. LED
8. Dioda 1N4148

Perangkat kerja yang terdiri dari:

1. Power Supply 12 volt
2. Papan proyek (*Project Board*) dan kabel penghubung
3. Bor PCB
4. Solder dan peralatan pembersih timah

3.3. Prosedur Kerja

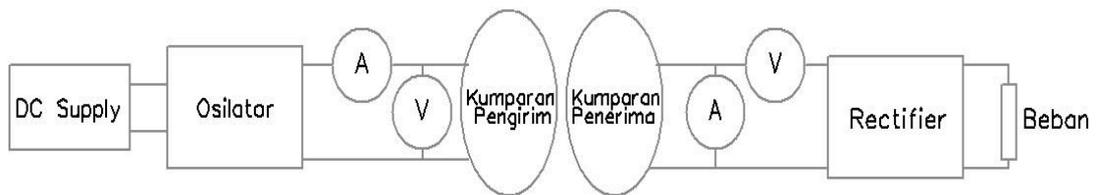
Langkah-langkah yang dilakukan pada perancangan model sistem secara keseluruhan adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur

Tahap ini merupakan tahap pengumpulan dan pencarian literatur dari berbagai sumber baik skripsi, buku, jurnal dan makalah ilmiah yang berkaitan dengan *wireless transfer energy*. Khususnya penulis mempelajari sistem kerja dari sebuah *wireless transfer energy* beserta karakteristik dan bagian-bagiannya.

2. Perancangan blok diagram sistem

Perancangan blok diagram sistem bertujuan untuk mempermudah realisasi perancangan *wireless transfer energy*.



Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem

3. Implementasi rangkaian *wireless transfer energy*

Implementasi dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

- a. Merancang pembuatan rangkaian dan menentukan komponen yang digunakan.
- b. Melakukan pengujian rangkaian dari setiap blok diagram di *project board*.
- c. Menggabungkan setiap rangkaian blok diagram yang telah diuji dan melakukan pengujian ulang.

4. Pengujian alat

Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan alat yang dirancang dan dapat dilakukan dengan cara pengambilan data terhadap parameter referensi yang telah ditentukan.

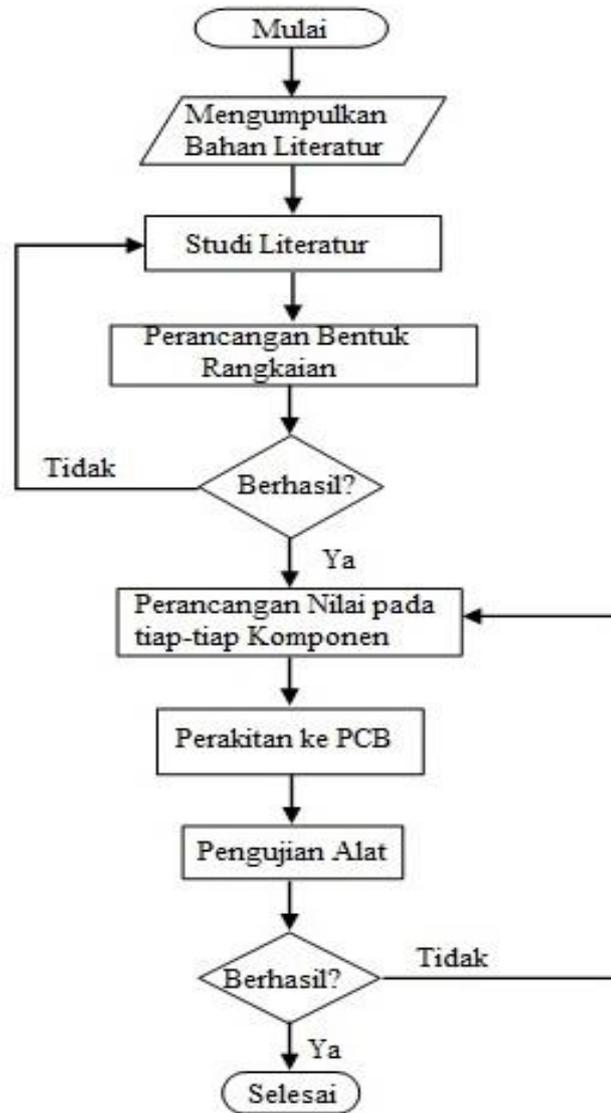
3.4. Tahap-tahap Perancangan Alat

Dalam tahapan ini dilakukan realisasi dari skematik yang telah dibuat. Realisasi skematik rangkaian dilakukan dengan menggunakan *project board*. Jika rangkaian telah bekerja sesuai dengan fungsi yang diinginkan maka rangkaian dibuat kedalam bentuk *Printed Circuit Board* (PCB). Namun jika ada beberapa fungsi yang tidak bekerja maka akan dilakukan peninjauan ulang terhadap rancangan rangkaian, baik itu berupa peninjauan terhadap pemilihan jenis komponen ataupun pengaturan bentuk rangkaian.

Ada beberapa proses yang dilakukan dalam tahapan pembuatan alat ini, diantaranya adalah:

1. Membuat skema bentuk rangkaian alat dan menggambar rangkaian ke dalam program *Diptrace* menggunakan komputer.
2. Menentukan besaran nilai pada bahan atau material yang dipergunakan (nilai tahanan resistor, kapasitor, dan induktor).
3. Merangkai alat sesuai data yang telah diperoleh ke dalam *project board*.
4. Memindahkan hasil bentuk atau skema rangkaian yang telah berhasil kedalam program *diptrace*.
5. Memplot hasil gambar rangkaian pada PCB.
6. Melakukan penglarutan rangkaian pada PCB menggunakan *ferry chloride*.
7. Melakukan pengeboran untuk pemasangan komponen.
8. Melakukan pemasangan komponen pada PCB.
9. Melakukan penyolderan terhadap komponen pada PCB.
10. Membentuk konstruksi *prototype wireless transfer energy* sesuai dengan bentuk yang telah direncanakan yaitu dengan beban 5 volt pada jarak 1-10 cm.

Diagram alir sebagai tahap perancangan dan realisasi alat dalam penelitian ini dijelaskan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram Alir Langkah Kerja Perancangan Alat

3.5. Perancangan Alat *Wireless Transfer Energy*

1. Rangkaian Pengirim

Rangkaian pengirim merupakan gabungan beberapa komponen elektronika yang digabungkan menjadi suatu rangkaian yang berfungsi untuk mengirimkan

energi listrik menuju rangkaian penerima tanpa menggunakan kabel sebagai perantara (*wireless*). Rangkaian pengirim ini terdiri dari beberapa komponen yaitu:

a. Rangkaian Osilasi

Rangkaian osilasi merupakan rangkaian yang digunakan untuk mengkonversi daya DC ke variasi sinyal AC dengan frekuensi tertentu serta untuk menghasilkan gelombang sinusoidal. Gelombang sinusoidal digunakan untuk meningkatkan efisiensi energi yang ditransfer. Pada tugas akhir ini rangkaian osilasi yang digunakan adalah rangkaian osilasi colpitt. Beberapa syarat yang dibutuhkan untuk menghasilkan rangkaian osilasi adalah:

- Sumber tegangan DC

DC *power supply* berfungsi mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC.

- *Amplifier*

Amplifier adalah rangkaian komponen elektronika yang dipakai sebagai penguat. Amplifier akan menguatkan sinyal arus dan tegangan listrik dari inputnya, sehingga akan diperoleh output yang lebih besar. Pada tugas akhir ini digunakan transistor sebagai *amplifier*.

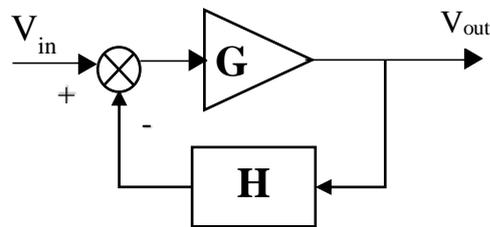
Transistor merupakan dioda dengan dua sambungan. Secara umum transistor dibagi menjadi dua jenis yaitu transistor PNP (Positif-Negatif-Positif) dan NPN (Negatif-Positif-Negatif) yang memiliki tiga kaki yaitu:

1. Basis (B)
2. Kolektor (C)
3. Emitor (E)

Transistor yang digunakan adalah tipe 2N222 dengan polaritas NPN. Transistor jenis ini merupakan transistor positif yang dapat bekerja mengalirkan arus listrik apabila basis dialiri tegangan arus positif.

- Umpan balik positif

Umpan balik positif (H) berfungsi untuk mengembalikan bagian dari sinyal keluaran amplifier ke tahap input amplifier. Untuk dapat menghasilkan umpan balik positif pada rangkaian osilasi dibutuhkan komponen pembantu yaitu resistor dan kapasitor.

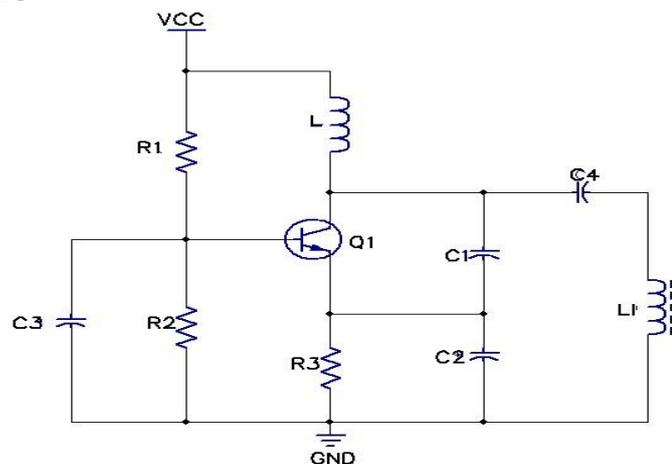


Gambar 3.3 Bentuk Umum Rangkaian Umpan Balik Positif

- Rangkaian Penentu Frekuensi

Rangkaian penentu frekuensi berfungsi untuk menentukan nilai frekuensi yang akan dihasilkan. Rangkaian ini merupakan kombinasi rangkaian kapasitor dan induktor yang dipasang paralel untuk menghasilkan LC osilasi. Nilai frekuensi yang dihasilkan ditentukan oleh besarnya nilai kapasitor dan nilai induktansi pada rangkaian LC osilasi yang ditunjukkan pada persamaan 1 berikut ini:

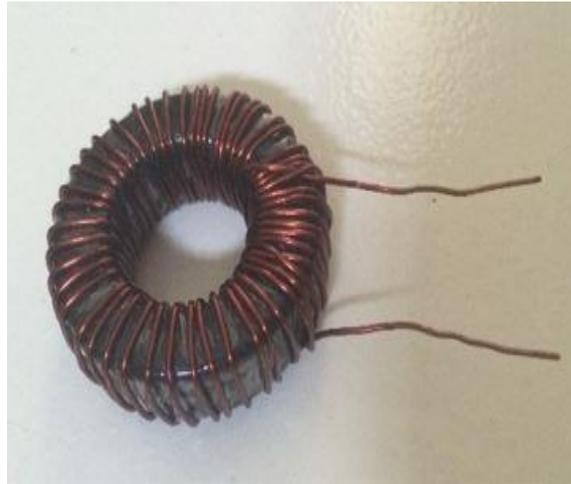
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}} \quad (1)$$



Gambar 3.4 Rangkaian Osilasi Coolpit

b. Kumparan magnetik

Dalam tugas akhir ini, kumparan magnetik yang digunakan berbentuk toroid dan selenoid. Kumparan toroid merupakan sebuah selenoid yang dilengkungkan sehingga berbentuk lingkaran dengan diameter yang telah ditentukan untuk menginduksi kumparan penerima. Kumparan ini berfungsi untuk menghasilkan fluks magnet dirangkaian pengirim.



Gambar 3.5 Kumparan Toroid



Gambar 3.6 Kumparan Selenoid

2. Rangkaian Penerima

Rangkaian penerima merupakan gabungan komponen elektronika yang akan bereaksi terhadap transfer daya dari rangkaian pengirim. Rangkaian penerima ini terdiri dari beberapa komponen, diantaranya:

a) Kapasitor

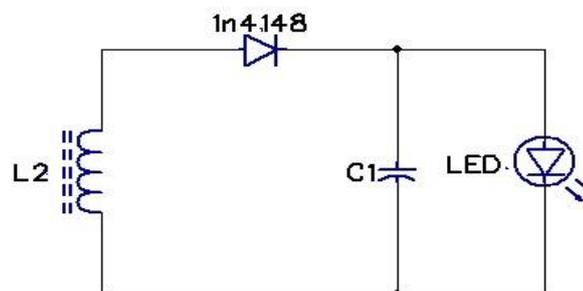
Kapasitor pada rangkaian ini berfungsi untuk menyimpan muatan listrik serta untuk menghasilkan resonansi kapasitor yang berfungsi untuk memaksimalkan energi yang ditransfer.

b) Dioda

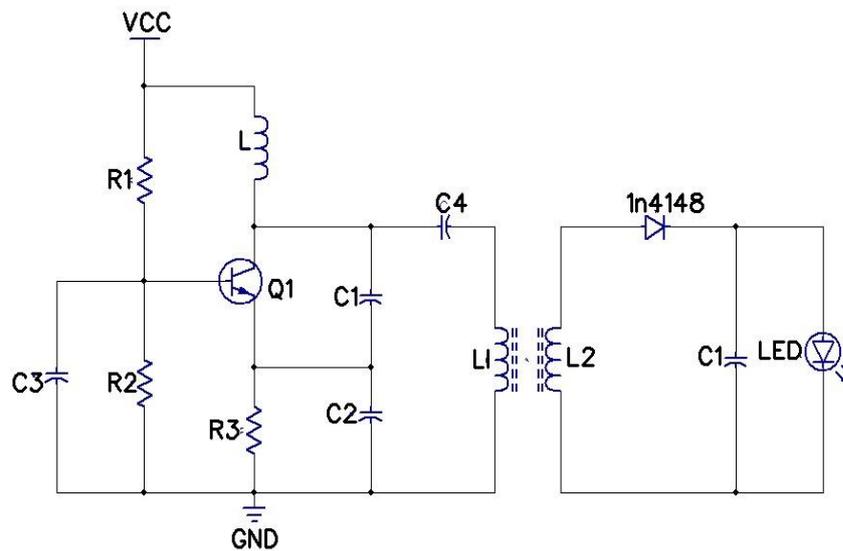
Dioda yang digunakan pada rangkaian ini adalah dioda tipe 1N4148 yang berfungsi sebagai penyearah arus.

c) Kumputan penerima

Salah satu bagian terpenting dalam rangkaian penerima adalah kumputan penerima. Kumputan yang digunakan pada penelitian ini adalah kumputan berbentuk toroid, selenoid dan dengan diameter yang telah ditentukan untuk menghasilkan energi listrik pada rangkaian penerima. Rangkaian penerima yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Rangkaian Penerima



Gambar 3.8 Rangkaian Keseluruhan

3.6. Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu:

1. Pengujian rangkaian pengirim
2. Pengujian rangkaian penerima

Pengujian terhadap hasil perancangan dan realisasi dalam pengujian keseluruhan dimaksudkan untuk mengetahui alat yang dibuat berhasil atau tidak dan apakah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

V. KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Dari perancangan dan desain *wireless transfer energy* dengan kumparan toroid dan selenoid menggunakan teknik resonansi induksi elektromagnetik dapat disimpulkan antara lain:

1. Pengiriman energi listrik secara *wireless* dengan menggunakan prinsip induksi elektromagnetik dapat dilakukan, besarnya daya listrik yang dikirimkan sangat dipengaruhi oleh jarak antara kumparan pengirim dengan penerima, semakin jauh jarak antar kumparan maka daya yang mampu dikirimkan akan semakin kecil.
2. Dari hasil pengujian didapat semakin besar frekuensi resonansi yang terbentuk dari kedua kumparan, semakin besar pula efisiensi daya yang mampu dikirimkan.
3. Bentuk dan arah lilitan kumparan mempengaruhi tingkat keberhasilan pengiriman energi secara *wireless*, arah lilitan kumparan toroid tidak dapat menghasilkan induktansi bersama sehingga efisiensi yang dihasilkan masih sangat kecil. Sedangkan arah lilitan kumparan selenoid mampu menghasilkan induktansi bersama karena mampu menghasilkan efisiensi yang cukup besar.
4. Kumparan solenoid lebih baik untuk digunakan sebagai kumparan dalam pengiriman energi berdaya rendah jika dibandingkan dengan kumparan

toroid karena memiliki efisiensi yang jauh lebih baik serta memiliki dimensi yang lebih kecil.

5. Efisiensi terbesar untuk jarak 1 cm adalah 28,16 % pada kumparan selenoid 8 lilitan, dan efisiensi terendah untuk jarak 1 cm adalah 0,00009 % pada kumparan toroid 25 lilitan.

5.2. Saran

Desain *wireless transfer energy* dengan kumparan toroid dan selenoid menggunakan teknik resonansi induksi elektromagnetik tidak sesuai dengan yang diharapkan, perlu adanya perbaikan pada perancangan rangkaian pengirim dan penerimanya. Tidak maksimalnya *wireless transfer energy* menggunakan kumparan toroid karena tingkat efisiensi yang masih sangat rendah dipengaruhi oleh bentuk dan arah lilitan, sehingga tidak disarankan untuk menggunakan kumparan toroid. Penggunaan kumparan solenoid lebih baik untuk digunakan sebagai kumparan karena memiliki dimensi yang cukup kecil sehingga lebih praktis jika digunakan sebagai pengisi daya pada peralatan berdaya rendah. Penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan frekuensi resonansi yang tinggi dengan mengatur nilai komponen LC pada rangkaian osilator dengan memperhatikan besar induktansi kumparan agar dapat mengirimkan energi listrik yang lebih besar dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

1. D. Ahn, and S. Hong, "Wireless Power Transmission With Self- Regulated Output Voltage for Biomedical Implant," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 61, no. 5, pp. 2225-2235, May 2014.
2. P. Vaugopal, "Wireless Power Transfer For E-Mobility." Master of Science Thesis, Delft University of Technology, Belanda, 2012.
3. Panggabean. Berry M,"*Perancangan Sistem Transfer Energi Secara Wireless Dengan Menggunakan Teknik Resonansi Induksi Medan Elektromagnetik.*" Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung, 2013.
4. M. Er. Lince and P.S. Yash."An Extensive Study of Wireless Power Transmission-A next Generation Power Transmission System, *International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research*, vol. 2, no. 12, pp. 2319-4413, Dec. 2013.
5. Mohammed S, Sheik. K, Ramasamy and Shanmugantham, T, "Wireless Power Transmission - A Next Generation Power Transmission System," *International Journal of Computer Applications*. vol. 1, no. 13, pp. 274-434. 2010.
6. S. Toto dan W. Asri. "Rancang Bangun Wireless Power Transfer (WPT) Menggunakan Metode Multi-Magnetic Resonator Coupling." *Jurnal Politeknik Negeri Jakarta*, vol. 14, no. 2, ISSN 2407-9103. Mei. 2013.
7. Soljac. Marin, Andre. Kurs, Aristeidis. Karalis, Robert. Moffatt, J. D. Joannapoulos, and Peter. Fishier. "Wireless Power Transfer via Strongly

- Coupled Magnetic Resonances.” *Science Journal, Cambridge, Massachusetts, United States*. vol. 317, pp. 83-86, Jul. 2007.
8. Putra. Adhitya Iskandar, ”*Analisa Karakteristik Induktor Toroid Pada Rangkaian Boost Converter.*” Skripsi, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Indonesia, 2012.
 9. Ronnback. Oscar. ”*Optimalization of Wireless Power.*” Master’s Thesis, Lulea University of Technology, Sweden, 2013.
 10. Ganda. Tirta.”*Rancang Bangun Prototipe Sistem Transfer Energi Listrik Tanpa Kabel.*” Skripsi. Jurusan Teknik Telekomunikasi, Universitas Telkom, 2010.
 11. Rahman. Syed Khalid. ”Design and Construction of Wireless Power Transfer System Using Magnetic Resonant Coupling.” *American Journal of Electromagnetics and Applications*. vol. 2, no. 2, pp. 11-15, May. 2010.
 12. Lee, Hee Jin. Bang, Jin Young and Chung, Chin Wook, ”Electromagnetically Coupled Resonators Using Toroidal Ferrite Core for Wireless Power Transfer.” *IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Innovative Wireless Power Transmission: Technologies, Systems, and Applications*. pp. 133-791, May. 2012.