



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PENGARUH DIAMETER ANTENA
TERHADAP FREKUENSI DAN DAYA TRANSMITTER
PADA CATU DAYA LISTRIK NIRKABEL**

SKRIPSI

FAJAR KAWOLU

0906602635

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA EKSTENSI
DEPOK
JUNI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PENGARUH DIAMETER ANTENA
TERHADAP FREKUENSI DAN DAYA TRANSMITTER
PADA CATU DAYA LISTRIK NIRKABEL**

SKRIPSI

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

FAJAR KAWOLU

0906602635

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM SARJANA EKSTENSI
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS

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

Nama : Fajar Kawolu

NPM : 0906602635

Tanda tangan : 

Tanggal : Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh,

Nama : Fajar Kawolu

NPM : 0906602635

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisa Pengaruh Diameter Antena terhadap Frekuensi dan Daya Transmitter pada Catu Daya Listrik Nirkabel

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 : Aji Nur Widyanto S.T., M.T ()

Penguji II : Ir. Amien Rahardjo M.T ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah S.W.T, karena atas ijin dan rahmat-Nya, saya 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. Pada kesempatan ini saya mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua, bapak Sudiyono dan ibunda Tuti Suryati yang memberikan dukungan hingga saya dapat menyelesaikan pendidikan di Universitas Indonesia
2. Saudari Nasiyah Dini Febrianti yang telah memberikan semangat dan mendorong saya segera menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Dr.-Ing Eko Adhi Setiawan, sebagai dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
4. Ibu Rasiman, abang Venus Dirgantara, mba Santi Sardi atas semua perhatian dan kebaikannya sehingga saya selalu merasa dirumah.
5. Ariadhul Qolbi dan Ikhsan Jotaro sebagai rekan kerja di grup riset *Wireless Power Transfer*, Universitas Indonesia.
6. Rekan-rekan ekstensi angkatan 2009, semoga kesuksesan selalu berada disisi kita semua.

Saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tulisan ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Depok, Juni 2011

Penulis

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

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

Nama : Fajar Kawolu
NPM : 0906602635
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 :

**ANALISA PENGARUH DIAMETER ANTENA TERHADAP FREKUENSI
DAN DAYA TRANSMITTER PADA CATU DAYA LISTRIK NIRKABEL**

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 : Juni 2011

Yang Menyatakan



Fajar Kawolu

ABSTRAK

Nama : Fajar Kawolu

Program Studi : Teknik Elektro

Judul : Analisa Pengaruh Diameter Antena terhadap Frekuensi dan Daya Transmitter pada Catu Daya Listrik Nirkabel

Teknologi catu daya listrik nirkabel dirancang bukan untuk menggantikan seluruh kabel tetapi untuk meningkatkan kehandalan dan kenyamanan pengguna peralatan.

Dimensi antena induktif erat hubungannya dengan aplikasinya pada peralatan karena penerapan teknologi catu daya nirkabel harus disesuaikan dengan dimensi peralatan yang menggunakannya. Untuk mengetahui pengaruhnya terhadap frekuensi dan daya rangkaian pengirim dilakukan percobaan dengan antena induktif konfigurasi lingkaran tunggal menggunakan dua jenis penampang yaitu penampang pejal dan penampang berongga dengan diameter luar 2.5mm serta ketebalan penampang berongga 0.635mm.

Pengukuran dilakukan pada diameter antena induktif 5cm hingga 25cm dengan interval setiap 5cm. Hasil pengukuran menunjukkan kenaikan frekuensi terbesar terjadi pada antena berongga diameter 10cm menjadi 5cm sebesar 0.51MHz sedangkan kenaikan daya terbesar pada antena pejal diameter 10cm menjadi 5cm sebesar 2.0554 watt.

Kata kunci:

Catu daya listrik nirkabel, dimensi antena induktif, frekuensi dan daya rangkaian pengirim.

ABSTRACT

Nama : Fajar Kawolu

Program Studi : Teknik Elektro

Judul : Antenna Diameters Analysis of Frequency and Transmitter's Power, Wireless Power Transfer.

Wireless power supply technology is designed not to replace the whole cable but to improve equipment reliability and user convenience.

Inductive antenna dimensions are related to its application. due to the wireless power technology must be adapted to the dimensions of the devices. To determine the effect on the frequency and the transmitter's power, the experiments have been done with single-antenna inductive loop with solid circular and hollow cross section with an outer diameter of 2.5mm and 0.635mm thickness.

Measurements were taken at 5cm diameter inductive antenna up to 25cm by 5cm intervals. The measurement results showed the greatest increase in frequency occurs at the hollow antenna 5cm-10cm diameter of 0.51MHz while the largest increase in power on solid circular antenna 10cm to 5cm diameter of 2.0554 watts.

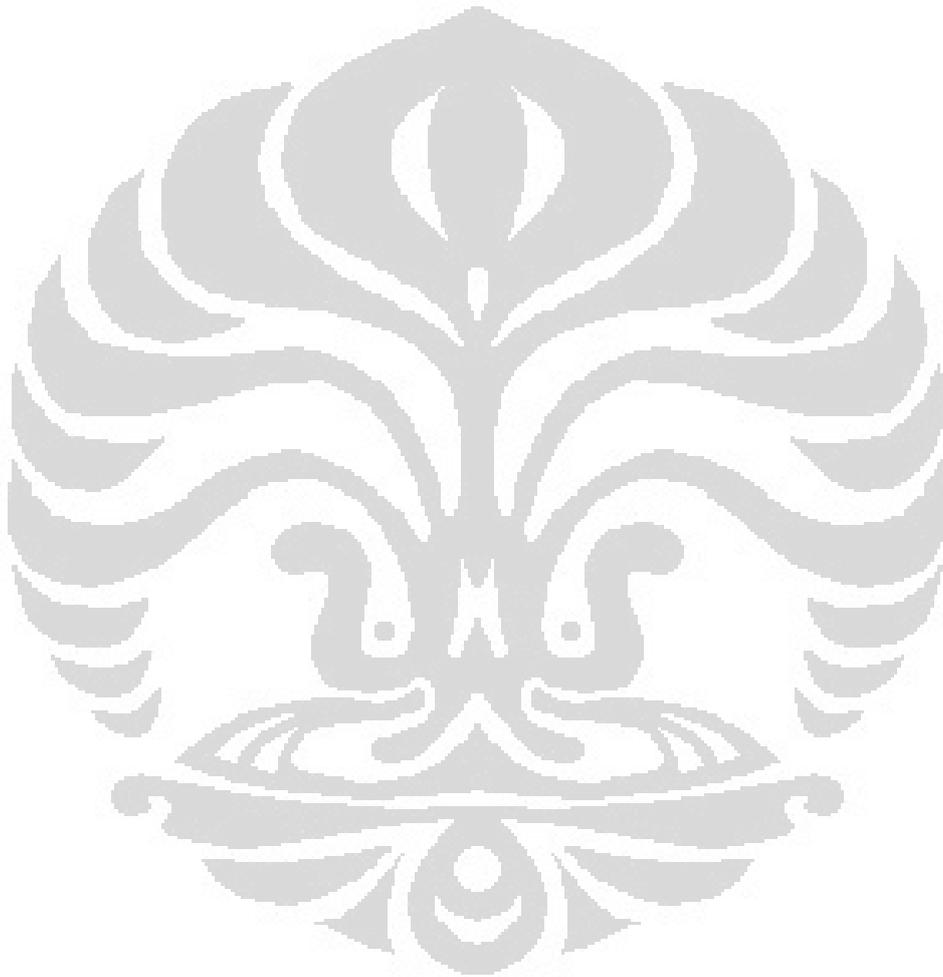
Key words:

Wireless power supply, inductive antenna dimensions, frequency and transmitter's 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.....	xiv
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penulisan	6
1.3 Batasan Masalah	6
1.4 Metodologi Penelitian	6
1.5 Sistematika Penulisan	6
2 DASAR TEORI	7
2.1 Aplikasi Transmisi Daya Listrik <i>Wireless</i>	7
2.2 Penelitian <i>Wireless Power Transfer</i>	10
2.3 Teori Elektromagnetik dan Resonansi Magnetik.....	11
2.4 Model Transformator dan Antena Induktif	13
2.5 Impedansi Rangkaian dan Transfer Daya Maksimum.....	14
2.6 Rangkaian Osilator.....	16
2.7 Disipasi Daya pada Rangkaian Transmitter.....	17
2.8 Pengaruh Frekuensi Tinggi pada Penghantar Berarus	18
2.9 Pengaruh Jarak Penghantar pada Antena Induktif.....	20
2.10 Pengukuran Arus dan Tegangan dengan Multimeter.....	23
2.11 Pengukuran dengan Osiloskop.....	25
3 PEMODELAN ANTENA DAN METODE PENGUKURAN	27
3.1 Model Antena Induktif.....	27
3.2 Model Ekuivalen rangkaian <i>Transmitter</i>	28
3.3 Sistematika pengukuran antena Induktif.....	29

3.4 Pengukuran Daya pada <i>Transmitter</i>	32
3.5 Pengukuran Frekuensi dengan Osiloskop.....	32
4 HASIL PENGUKURAN	34
4.1 Pengukuran Resitansi DC dan Induktansi Antena	34
4.2 Pengukuran Frekuensi Antena Induktif.....	35
4.3 Perhitungan <i>Skin Depth</i> pada Antena Induktif.....	38
4.4 Pengukuran Daya <i>Transmitter</i> Antena Induktif.....	44
5 KESIMPULAN	48
DAFTAR ACUAN	49

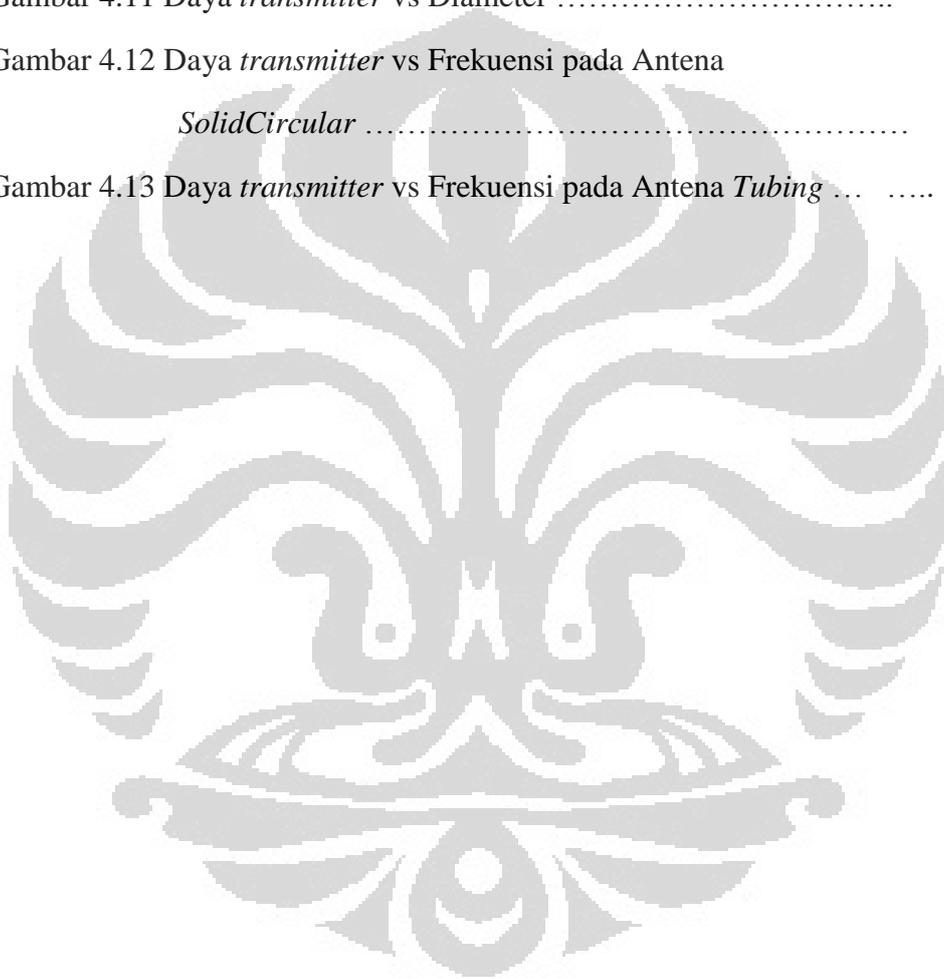


DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Ilustrasi kapsul endoskopis	2
Gambar 1.2 Fitur kapsul endoskopis	2
Gambar 1.3 Ilustrasi mobil listrik dengan teknologi <i>wireless power</i> <i>Supply</i>	3
Gambar 1.4 Tesla Coil	4
Gambar 1.5 Sistem <i>wireless power supply</i>	5
Gambar 2.1 Kapsul endoskopi dengan teknologi <i>wireless power</i>	8
Gambar 2.2 Blok rangkaian internal kapsul endoskopi berteknologi <i>wireless power</i>	8
Gambar 2.3 Konsep kendaraan dengan <i>wireless power & supercapacitor</i>	9
Gambar 2.4 Blok diagram kendaraan dengan <i>wireless power</i>	9
Gambar 2.5 Alat <i>Wireless Power Transfer</i> Universitas Indonesia	10
Gambar 2.6 Gelombang Elektromagnet	11
Gambar 2.7 Diagram <i>Wireless Power Transfer</i>	12
Gambar 2.8 Model coreless transformer.....	13
Gambar 2.9 Rangkaian equivalen Antena Induktif	13
Gambar 2.10 Model impedansi rangkaian	14
Gambar 2.11 Model impedansi rangkaian dengan pengaruh Induktansi bersama Z_{IM} ,	15
Gambar 2.12 Model rangkaian osilator <i>transmitter</i> dengan antena induktif	16
Gambar 2.13 Model DC Impedansi pengganti osilator	17
Gambar 2.14 Penghantar lingkaran tunggal	18
Gambar 2.15 Distribusi arus pada penampang melintang penghantar	19
Gambar 2.16 Resistansi akibat <i>skin effect</i>	19

Gambar 2.17 Distribusi arus pada penampang dengan 6 lilitan	21
Gambar 2.18 Interaksi medan magnet antar penghantar yang berdekatan	21
Gambar 2.19 Intensitas flux magnet pada penghantar	21
Gambar 2.20 Resistansi equivalen terhadap jumlah lilitan	22
Gambar 2.21 Resistansi equivalen penghantar dengan 2 lilitan	22
Gambar 2.22 Resistansi equivalen penghantar dengan 6 lilitan	22
Gambar 2.23 Rangkaian equivalen antena induktif	23
Gambar 2.24 Pengukuran Arus langsung	24
Gambar 2.25 Pengukuran arus secara tak langsung	24
Gambar 2.26 Osiloskop	26
Gambar 3.1 Model DC antena induktif	27
Gambar 3.2 Model AC antena induktif	28
Gambar 3.3 Rangkaian ekivalen AC <i>Transmitter</i>	28
Gambar 3.4 Penampang melintang antena induktif	29
Gambar 3.5 Antena induktif diameter 15 cm	30
Gambar 3.6 Bontoon 5100 RCL meter	30
Gambar 3.7 Koneksi antena dengan rangkaian osilator	31
Gambar 3.8 Sistematika pengukuran	31
Gambar 3.9 Rangkaian pengukuran arus dan tegangan pada <i>transmitter</i>	32
Gambar 3.10 Pengukuran arus pada <i>transmitter</i>	32
Gambar 3.11 Skematik pengukuran frekuensi dengan osiloskop	33
Gambar 4.1 Pengukuran R_{DC} dengan RCL meter	34
Gambar 4.2 Antena induktif pada wireless power supply	36
Gambar 4.3 Frekuensi vs Diameter pada antena <i>SolidCircular</i>	36
Gambar 4.4 Frekuensi vs Diameter pada Antena <i>Tubing</i>	37
Gambar 4.5 Frekuensi antena dipengaruhi diameter	37

Gambar 4.6 Frekuensi mempengaruhi resistansi AC	40
Gambar 4.7 Perbandingan Rac pejal & Rac berongga	41
Gambar 4.8 Ilustrasi <i>skin depth</i> pada penghantar berongga	42
Gambar 4.9 Nilai Rac berongga dengan pendekatan Rac pejal	43
Gambar 4.10 Hubungan diameter dengan resistansi AC total pada antena induktif	44
Gambar 4.11 Daya <i>transmitter</i> vs Diameter	45
Gambar 4.12 Daya <i>transmitter</i> vs Frekuensi pada Antena <i>SolidCircular</i>	45
Gambar 4.13 Daya <i>transmitter</i> vs Frekuensi pada Antena <i>Tubing</i>	46



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Pengukuran R & L antena <i>SolidCircular</i>	34
Tabel 4.2 Pengukuran R & L antena <i>Tubing</i>	35
Tabel 4.3 Pengukuran dan perhitungan frekuensi antena <i>SolidCircular</i>	36
Tabel 4.4 Pengukuran dan perhitungan frekuensi antena <i>Tubing</i>	37
Tabel 4.5 Selisih frekuensi terhadap perubahan diameter antena <i>Solid circular</i>	38
Tabel 4.6 Selisih frekuensi terhadap perubahan diameter antena <i>Tubing</i>	38
Tabel 4.7 Perhitungan <i>Skin Depth</i> pada antena <i>Solidcircular</i>	39
Tabel 4.8 Perhitungan <i>Skin Depth</i> pada antena <i>Tubing</i>	39
Tabel 4.9 Tabel perhitungan Rac antena <i>Solid Circular</i>	41
Tabel 4.10 Tabel perhitungan Rac antena <i>Tubing</i>	41
Tabel 4.11 Tabel perhitungan Rac antena <i>Tubing</i> dengan pendekatan Rac <i>Solid Circular</i>	43
Tabel 4.12 Tabel pengukuran daya <i>transmitter</i> antena <i>Solid Circular</i>	44
Tabel 4.13 Tabel pengukuran daya <i>transmitter</i> antena <i>Tubing</i>	44
Tabel 4.14 Selisih daya <i>Transmitter</i> terhadap diameter antena <i>Solid Circular</i>	47
Tabel 4.15 Selisih daya <i>Transmitter</i> terhadap diameter antena <i>Tubing</i>	47

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

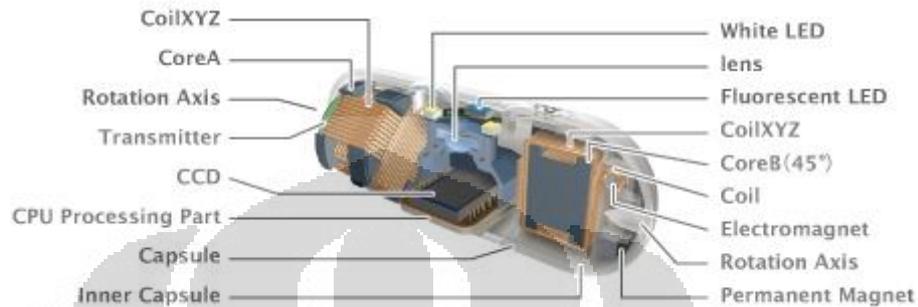
Manusia begitu dimanjakan dengan teknologi, sehingga perkembangannya tak akan pernah terhenti selama terdapat kebutuhan yang belum terpenuhi. Alexander Graham Bell mungkin tak pernah bermimpi bahwa telepon yang diciptakannya akan berkembang pesat sehingga hanya seukuran saku pakaian. Inovasi terus berkembang seiring dengan ide-ide baru, kebutuhan baru bahkan impian dan inspirasi dari tayangan televisi atau film fiksi ilmiah arahan sutradara terkenal.

Pada beberapa tahun terakhir, perkembangan teknologi *wireless* sangat pesat. Diawali dengan pesatnya perkembangan peralatan telekomunikasi. Berbagai peralatan komunikasi seperti telepon seluler menjadi sangat ringkas dan mudah untuk dibawa. Gaya hidup masyarakat sangat dimanjakan dengan teknologi yang terus berkembang seolah tanpa pernah berhenti. Berbagai kelebihan diberikan oleh peralatan-peralatan berteknologi *wireless*, diantaranya mobilitasnya tinggi, tidak direpotkan dengan kabel kemudian dari sisi estetika yang lebih rapi dan banyak lagi.

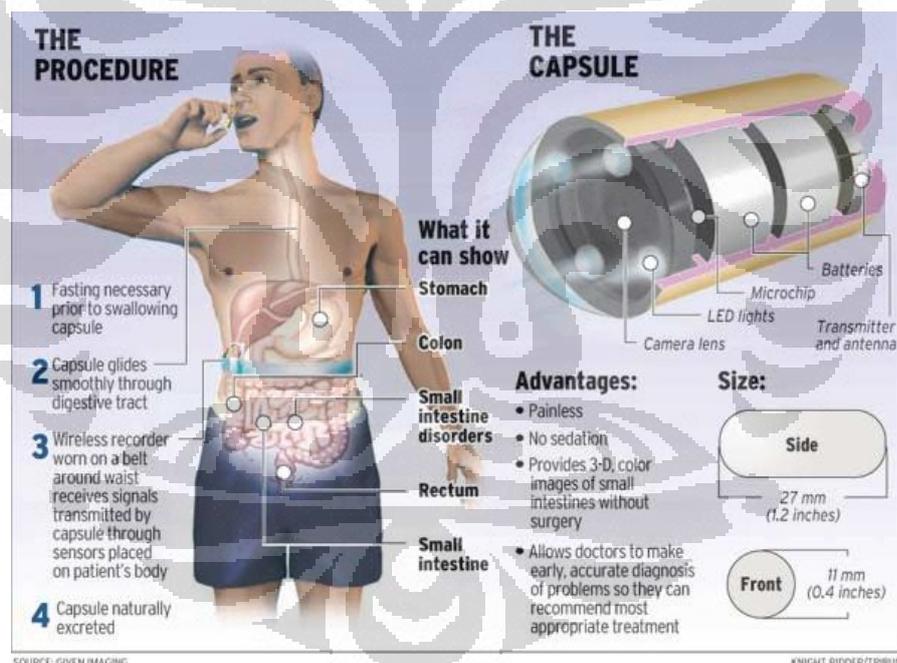
Berbagai aplikasi dunia moderen membutuhkan daya listrik yang selama ini dihubungkan dengan kabel digantikan dengan teknologi *wireless*. Wacana untuk mengirimkan listrik *wireless* menjadi topik yang menarik untuk dikembangkan.

Pada aplikasi bidang biomedik, contohnya kapsul endoskopi yang digunakan untuk mempelajari sistem pencernaan manusia atau untuk kepentingan mendiagnosa penyakit pada pasien. Kapsul endoskopi yang dilengkapi dengan baterai mini, kamera dan berbagai sensor yang dimasukkan melalui mulut pasien. Sepanjang perjalanan melalui sistem pencernaan manusia kapsul endoskopi akan merekam segala aktifitas organ pencernaan. Namun permasalahan pada peralatan endoskopi adalah keterbatasan daya yang bersumber dari baterai sehingga kamera

dan sensor terkadang tidak dapat berfungsi secara optimal untuk merekam aktifitas organ-organ pasien. Dengan *wireless Power supply* keberadaan baterai dapat digantikan dengan kapasitor sebagai *energy buffer* yang memiliki dimensi lebih kecil.



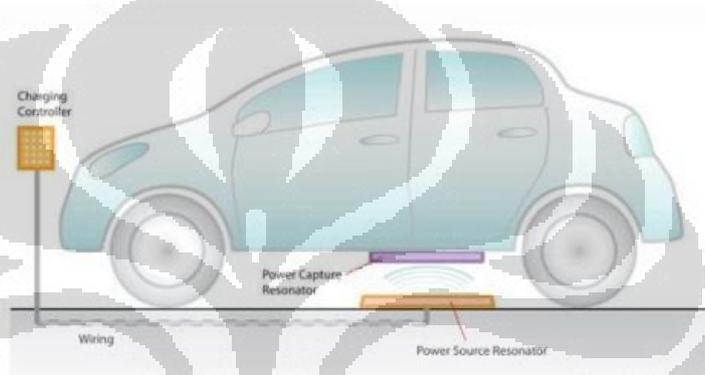
Gambar 1.1 Ilustrasi kapsul endoskopis^[7]



Gambar 1.2. Fitur kapsul endoskopis^[7]

Pada bidang otomotif, kendaraan-kendaraan ramah lingkungan menjadi *trend* untuk mengurangi efek pemanasan global. Produsen otomotif berlomba-lomba mengembangkan teknologi mobil listrik. Namun kendala pengisian baterai yang lama membuat perkembangannya mengalami perlambatan. Dengan teknologi *supercapacitor*, baterai akan segera tergantikan. Waktu untuk mengisi

energy listrik dapat dipersingkat. Tetapi permasalahan “*bottleneck*” terdapat pada teknik pengisian energi listrik pada kapasitor. Dengan *wireless Power supply* yang terintegrasi dengan infrastruktur perkotaan seperti tempat parkir, kendaraan yang berhenti dapat melakukan pengisian energi tanpa membutuhkan kabel. Seketika berhenti pada tempatnya, sensor akan mendeteksi keberadaan kendaraan di atasnya. Melalui komunikasi *handshaking* antara rangkaian sumber dan kendaraan sebagai rangkaian beban, dapat diketahui berapa kebutuhan daya yang akan dikirimkan. Teknologi ini akan terwujud dalam beberapa tahun kedepan[6].

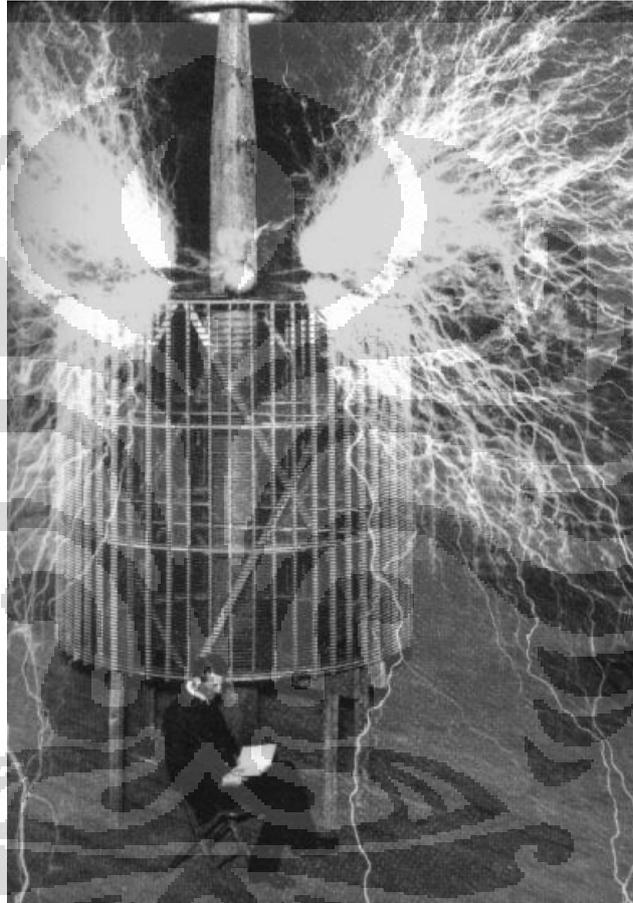


Gambar 1.3. Ilustrasi mobil listrik dengan teknologi *wireless power supply*[6]

Penelitian tentang transmisi listrik secara *wireless* pernah dilakukan pada akhir abad ke 18 oleh seorang ilmuwan yang bernama Nikola Tesla. Dari percobaan yang dilakukan tersebut dihasilkan sebuah alat yang dinamakan atas dirinya sendiri, yaitu kumparan Tesla (*Tesla Coil*) gambar 1.4. Dengan Alat ini Nikola Tesla dapat menghasilkan tegangan yang sangat tinggi, arus yang kecil, frekuensi yang sangat tinggi dan berhasil mengirimkan daya listrik sebesar 1.000.000 volt tanpa melalui suatu kabel sejauh 26 mil (41.8km) untuk menyalakan kurang lebih 200 lampu dan 1 motor listrik[13].

Akan tetapi sangat disayangkan bahwa penemuan dan teknologi tersebut harus dihentikan pada masa itu, karena efek samping dari tegangan tinggi yang ditransmisikan tersebut dapat merusak alat-alat elektronik yang berada di sekitarnya, serta lompatan listrik bertegangan tinggi yang dihasilkan dapat membahayakan manusia.

Kemudian pada tahun 1886, ilmuwan Jerman Heinrich Hertz juga berhasil melakukan percobaan untuk mentransmisikan listrik melalui gelombang elektromagnet. Penelitian Hertz yang menitikberatkan transmisi energi yang kecil, pada frekuensi radio, dan sangat berguna bagi keperluan mentransmisi data dan komunikasi dari suatu tempat ke tempat lain tanpa melalui kabel. Penelitian Hertz juga merupakan pengembangan dari penemuan Nikola Tesla.

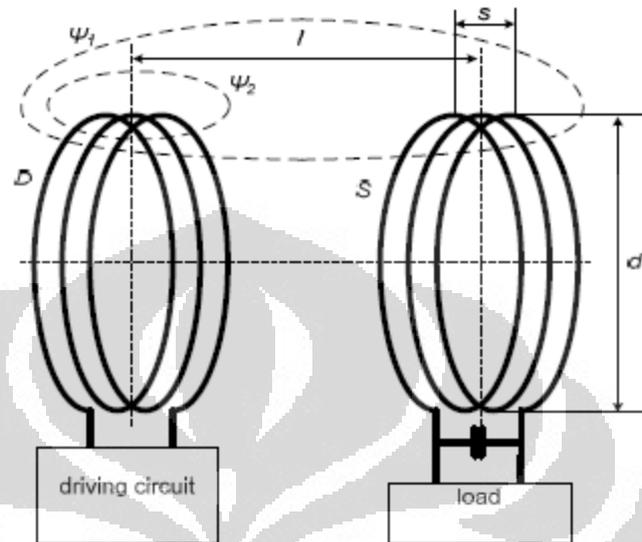


Gambar 1.4. Tesla Coil^[15]

Dengan perkembangan teknologi komponen yang sudah jauh lebih maju, pentransmisi listrik *wireless* dapat berlangsung secara aman dan efisien. Aman terhadap makhluk hidup terutama manusia dan lingkungan sekitarnya sedangkan efisien berarti rugi-rugi daya akibat pengiriman energi listrik dapat ditekan sekecil mungkin sehingga dicapai transfer energi yang optimal.

Metode transfer energi yang digunakan adalah dengan kopling magnetik. Dengan metode ini energi dikirimkan melalui medan elektromagnet dengan

pengaturan tertentu sehingga medan listrik yang terjadi tidak berbahaya terhadap makhluk hidup. Tentunya berbeda dengan teknik yang digunakan oleh Nikola Tesla 100 tahun lalu.



Gambar 1.5 Sistem *wireless power supply*

Alat-alat yang dibutuhkan adalah pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*). Keduanya dilengkapi oleh antena, *transmitter* akan menghasilkan medan magnetik resonansi dan akan ditangkap kembali oleh *receiver* sehingga energi listrik dapat diterima pada beban. Konfigurasi antena pada keduanya berhubungan erat dengan daya yang dapat dikirimkan.

Berbagai konfigurasi ukuran antena diuji untuk mendapatkan efisiensi yang optimal. Antena sendiri mempengaruhi frekuensi rangkaian resonansi dan disipasi daya rangkaian pada *transmitter*. Peningkatan efisiensi daya dari sisi *transmitter* menjadi penting untuk dikaji agar nantinya dapat diciptakan peralatan pengirim listrik nirkabel dengan rugi-rugi daya yang kecil. Bagaimanapun efisiensi transmisi daya tidak akan pernah mencapai 100% karena pasti terdapat rugi-rugi pada saat transmisi berlangsung, baik itu melalui penghantar kabel (*wire*) maupun tanpa kabel (*wireless*). Pengukuran frekuensi dan daya tersebut merupakan titik awal untuk menemukan, memperbaiki dan meningkatkan efisiensi sistem pengiriman listrik nirkabel secara keseluruhan.

1.2. Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan adalah menganalisa pengaruh dimensi antenna melalui pengamatan dan pengukuran frekuensi dan daya listrik pada sisi *transmitter* pada *wireless power supply* dengan prinsip induksi magnet resonansi.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah pada skripsi adalah melakukan percobaan menggunakan dua jenis antenna induktif berbeda yaitu antenna berpenampang pejal dan antenna berpenampang berongga dengan konfigurasi lingkaran tunggal. Keduanya memiliki diameter luar 2.5mm dan pada penghantar berongga memiliki diameter dalam 1.23mm dengan keterbalan 0.635mm. Diameter antenna induktif akan diubah kemudian dilakukan pengukuran frekuensi dan daya *transmitter* alat *wireless power supply* dengan prinsip induksi magnet resonansi.

1.4. Metodologi Penulisan

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

1.5. Sistematika Penulisan

Pada bab pertama merupakan pengantar untuk bab-bab selanjutnya. Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang, tujuan penulisan, batasan masalah, metodologi penulisan dan sistematika penulisan. Pada bab kedua akan dijelaskan secara umum mengenai teori dasar yang digunakan dalam tulisan ini, dasar teori elektromagnetik dan resonansi magnetik serta menjabarkan tentang teknik pengukuran. Pada bab ketiga berisi tentang pemodelan rangkaian, percobaan dan metode pengukuran frekuensi dan daya menggunakan multimeter dan osiloskop. Pada bab keempat berisi tentang data hasil pengujian dalam bentuk tabel dan grafik serta analisa hasil percobaan. Pada bab kelima berisi kesimpulan yang didapat dari penelitian.

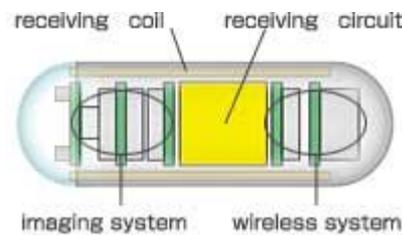
2.1. Aplikasi Transmisi Daya Listrik *Wireless*

Menghilangkan kabel yang menghubungkan sumber listrik dengan beban sangat penting pada beberapa aplikasi; contohnya pada kapsul endoskopi, alat pacu jantung, perangkat *mouse* komputer, alat cukur *portable*, sikat gigi elektrik sampai pada kendaraan dan kereta listrik. Menghilangkan kabel akan menambah kemudahan dan kenyamanan bagi pengguna peralatan, contohnya kita tak akan mungkin selalu mengawasi kontak listrik ketika mobil listrik sedang mengisi ulang baterai atau mengganti baterai alat pacu jantung yang dipasang didalam rongga dada tanpa bantuan seorang dokter ahli. Ilustrasi tersebut menunjukkan bahwa teknologi *wireless* mempunyai ruang gerak tersendiri, bukan dalam arti menggantikan seluruh kabel dengan teknologi *wireless*.

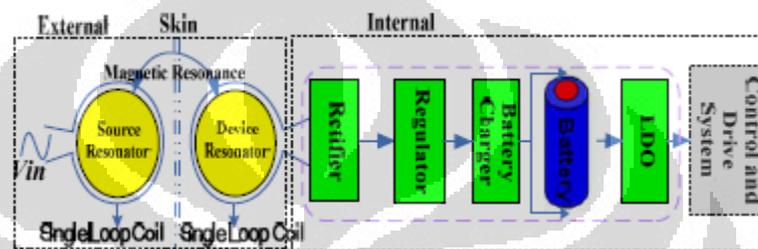
Kapsul endoskopi merupakan sebuah alat kecil yang berbentuk oval seperti kapsul obat pada umumnya. Terdapat sensor-sensor, baterai, kamera dan rangkaian elektronik berukuran mikro. Kapsul endoskopi digunakan untuk mendiagnosa penyakit yang terjadi pada saluran pencernaan. Penggunaan kabel fiber optik yang dimasukkan pada tubuh pasien sering menimbulkan trauma dan perasaan tidak nyaman kepada pasien sehingga kapsul endoskopi menjadi pilihan untuk menggantikan peran serat fiber. Namun penggunaannya masih terbatas karena hanya dapat bekerja beberapa jam setelah memasuki tubuh pasien. Daya baterai yang terbatas mengakibatkan peralatan kamera dan sensor tidak dapat bekerja maksimal sehingga data-data untuk kepentingan diagnosa oleh dokter pun terbatas.

Jika terdapat suatu peralatan yang mampu mengirimkan listrik tanpa kabel kepada kapsul endoskopi, maka permasalahan daya baterai dapat teratasi. Kapsul yang dilengkapi dengan sistem transmisi listrik *wireless* dapat bekerja sepanjang waktu dan memberikan data sebanyak mungkin sampai keluar dari tubuh pasien. Rancangan kapsul endoskopi oleh Shun yao et al. (2009) terdiri dari coil sebagai penerima transmisi daya, rangkaian penyearah, rangkaian regulator

tegangan dengan drop kecil (*low drop voltage regulator*) sehingga tegangan yang diterima peralatan endoskopi tetap stabil[11].



Gambar 2.1. Kapsul endoskopi dengan teknologi *wireless power*^[11]



Gambar 2.2. Blok rangkaian internal kapsul endoskopi berteknologi *wireless power*^[11]

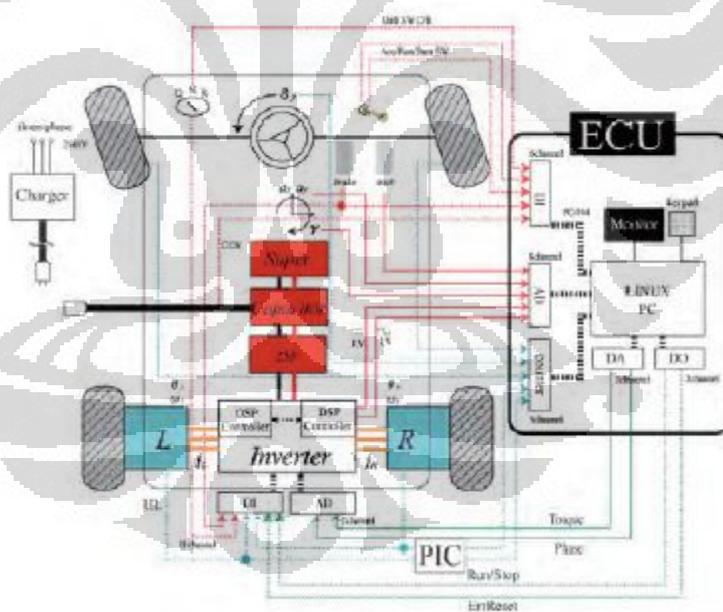
Pendapat lain tentang aplikasi *wireless power supply* pada bidang otomotif menurut Yoichi Hori (2010) dari universitas tokyo yang melakukan riset pada konsep kendaraan listrik masa depan[16].

Kendaraan listrik masa depan akan terintegrasi dengan infrastruktur *power supply*, kendaraan akan sering melakukan pengisian baterai seperti pada kereta listrik. Baterai konvensional membutuhkan waktu pengisian yang lama sehingga akan digantikan oleh superkapasitor. Pengiriman listrik secara *wireless* dengan metode resonansi magnetik merupakan teknik yang penting dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi dan kehandalan kendaraan listrik.

Saat ini peneliti dari jepang telah mengembangkan konsep kendaraan listrik yang melakukan pengisian energinya dengan *power supply wireless*. Pengembangan teknologi ini tidak terbatas pada kedua aplikasi diatas. Banyak aplikasi lain yang dapat dikembangkan memanfaatkan konsep *wireless power supply*.



Gambar 2.3. Konsep kendaraan dengan *wireless power & supercapacitor*^[16]



Gambar 2.4. Blok diagram kendaraan dengan *wireless power*^[16]

2.2. Penelitian *Wireless Power Transfer*

Penelitian tentang *wireless power transfer* dipelopori oleh Prof. Soljacic sebagai ketua tim riset dari Massachusetts Institute of Technology. MIT berhasil melakukan percobaan untuk menyalakan lampu 60W dengan jarak 2 meter. Antena *helix* yang digunakan memiliki *Q-factor* yang tinggi serta menghasilkan efisiensi sebesar 60% (Chunlai Yu et al., 2009). Karena kesuksesannya dan peluang perkembangan yang masih terbuka luas, banyak peneliti mencoba memahami, memperbaiki rancangan dan terus berinovasi mengembangkan pemanfaatan teknologi ini[10].

Universitas Indonesia melalui departemen teknik elektro ikut ambil bagian dalam penelitian teknologi *wireless power transfer*. Dimulai pada tahun 2008, generasi awal alat *wireless power transfer* telah berhasil dibuat berdasarkan pendekatan praktis. Berbagai percobaan dilakukan untuk memahami karakteristik dan fenomena yang terjadi. Teknik resonansi magnetik menjadi kunci agar dapat terjadi *transfer* energi dari rangkaian sumber kepada beban.

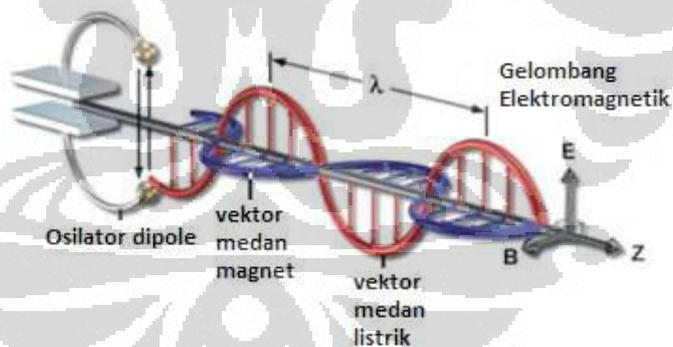


Gambar 2.5. Alat *Wireless Power Transfer* Universitas Indonesia

2.3. Teori Elektromagnetik dan Resonansi Magnetik

Gelombang elektromagnetik terdiri dari medan magnet dan medan listrik yang selalu berubah terhadap waktu dan dapat merambat diudara bahkan ruang hampa udara. Gelombang elektromagnetik sangat umum pada dunia telekomunikasi karena dapat merambatkan gelombang sinyal ketempat yang jauh, mulai dari komunikasi antar stasiun di bumi sampai pada peralatan diruang angkasa.

Pada dasarnya gelombang elektromagnetik terdiri dari medan listrik dan medan magnetik. Fasor medan listrik dan medan magnetik berbeda fasa 90^0 seperti ditunjukkan pada gambar 2.6. Kombinasi medan listrik dan medan magnet dapat mem-propagasikan gelombang radio yang mengandung sinyal informasi tertentu dan mengirimkan energi dari rangkaian *transmitter* menuju rangkaian *receiver* yang terpisah jauh. Ketika rangkaian *receiver* memiliki frekuensi yang sama dengan rangkaian *transmitter*, informasi tersebut dapat diambil kembali setelah melalui rangkaian filter yang memisahkan gelombang radio sebagai gelombang *carrier* dan sinyal informasinya.



Gambar 2.6. Gelombang Elektromagnet

Metode resonansi magnetik merupakan teknik pengiriman energi listrik tanpa medan radiasi yang memanfaatkan *near-field* pada kumparan penghantar sebagai media untuk menghantarkan energi listrik dari rangkaian sumber kepada rangkaian beban. Menurut Balanis (antenna, 1997, p.208), fasor dari medan listrik dan medan magnet pada penghantar melingkar dapat dirumuskan sebagai berikut[1]:

$$H_R = j \frac{ka^2 I_0 \cos \theta}{2r^2} \left[1 + \frac{1}{jkr} \right] e^{-jkr}, H_\phi = 0 \quad (2.1)$$

$$H_\theta = -\frac{(ka)^2 I_0 \sin \theta}{4r} \left[1 + \frac{1}{jkr} - \frac{1}{(kr)^2} \right] e^{-jkr}, \quad (2.2)$$

$$E_r = E_\theta = 0 \quad (2.3)$$

$$E_\phi = \eta_0 \frac{(ka)^4 I_0 \sin \theta}{4r} \left[1 + \frac{1}{jkr} \right] e^{-jkr}, \quad (2.4)$$

Dimana : a = Radius lingkaran

r = Jarak menuju titik pusat dari titik uji

k = Jumlah gelombang

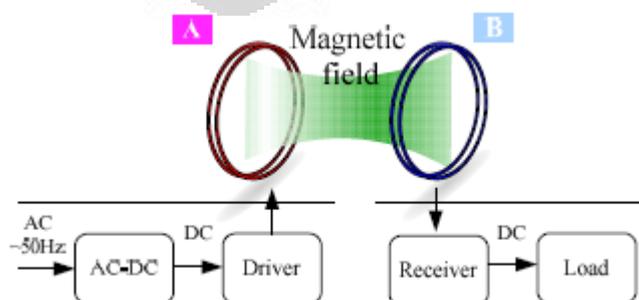
η_0 = Impedansi dari media rambat (udara)

I_0 = arus yang mengalir pada penghantar

Dari persamaan (1) dan (2), total daya yang diradiasikan pada permukaan adalah

$$P = \int \frac{1}{2} (E \times H^*) \cdot ds = \eta_0 \frac{\pi}{12} (ka)^4 |I_0|^2 \left[1 + j \frac{1}{(kr)^3} \right] \hat{r} \quad (2.5)$$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa sumbu imajiner merupakan domain oleh zona *near-field* ($kr \ll 1$) dan sumbu real merupakan domain *far-field* ($kr \gg 1$). Sehingga daya yang merambat pada domain *near-field* adalah reaktif dan induktif (shung-hwan lee, Robert D.lorenz, 2010).

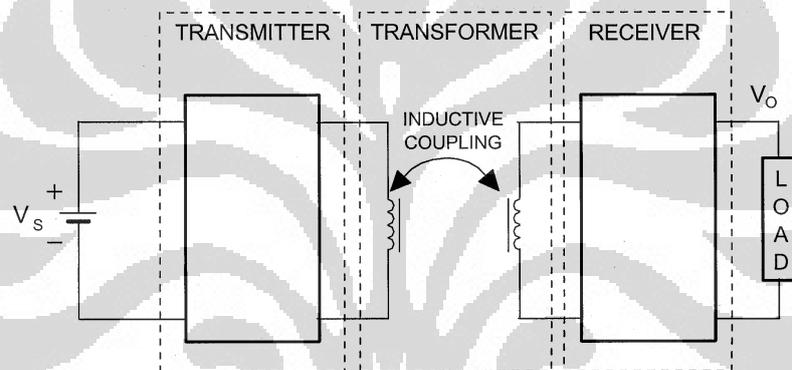


Gambar 2.7. Diagram Wireless Power Transfer^[4]

Kedua antenna pada alat *wireless power transfer* equivalen dengan dua induktor dan resistor dengan induktansi bersama yang lemah antara keduanya.

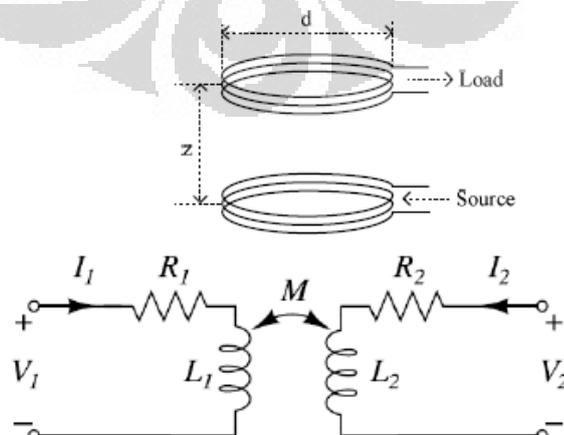
2.4. Model Transformator dan Antena Induktif

Kedua antenna pada *wireless power* dianggap sebagai induktor dan resistor sehingga secara keseluruhan sistem tampak seperti konfigurasi transformator yang tidak memiliki inti dan tidak saling bersentuhan. Terjadi induktansi bersama yang lemah antara kedua induktor. Untuk memaksimalkan kapasitas daya serta efisiensi, digunakan rangkaian resonansi LC pada sisi *transmitter* dan *receiver*. *Transfer* daya maksimum akan terjadi ketika rangkaian *transmitter* dan *receiver* mencapai frekuensi resonansi.



Gambar 2.8. model coreless transformer^[13]

Model antenna induktif *wireless power transfer* ditunjukkan gambar 2.9. Dua antenna dengan diameter d yang diletakkan terpisah dengan jarak Z . Terdapat L sebagai induktansi dan R sebagai resistansi penghantar.



Gambar 2.9. Rangkaian equivalen Antena Induktif^[13]

Tegangan eksitasi diberikan pada V1. Terjadi induktansi bersama M akibat interaksi medan magnet pada sisi primer dan skunder. Flux magnet yang berubah-ubah memotong induktor L2 sehingga menghasilkan tegangan *receiver* pada terminal V2. Dengan pendekatan dengan model transformator hubungan tegangan dan arus pada lilitan dirumuskan dengan persamaan (2.6) dan (2.7)[12].

$$\mathbf{V} = \mathbf{I} * \mathbf{Z} \quad (2.6)$$

$$\begin{bmatrix} V1 \\ V2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 + j\omega L_1 & j\omega M \\ j\omega M & R_2 + j\omega L_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Dimana V1 dan V2 adalah tegangan terminal *transmitter* dan terminal *receiver*. Sedangkan induktansi bersama dirumuskan dengan persamaan (2.8)[12].

$$M_{12} = K_{12} \sqrt{L_1 L_2} \quad (2.8)$$

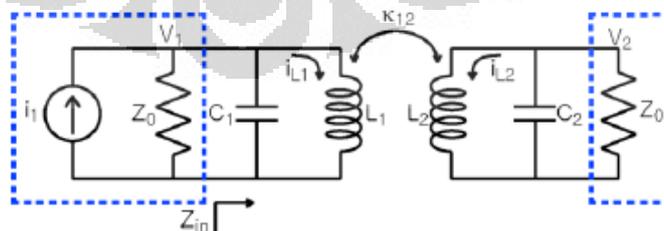
M_{12} = Induktansi bersama antara L_1 dan L_2

K_{12} = Konstanta induktansi

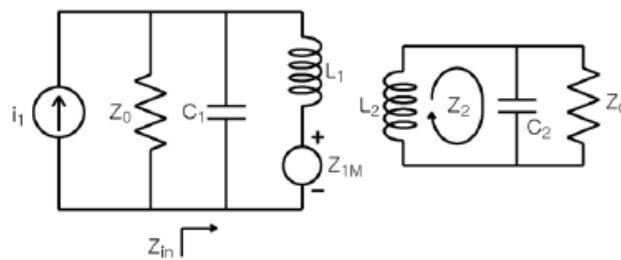
L_1 & L_2 = Induktor 1 dan induktor 2

2.5. Impedansi Rangkaian dan Transfer Daya Maksimum

Rangkaian *transmitter* dan *receiver* memiliki impedansi internal yang dihasilkan oleh komponen-komponen penyusunnya. Model impedansi pengganti rangkaian ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10. Model impedansi rangkaian^[10]



Gambar 2.11. Model impedansi rangkaian dengan pengaruh induktansi bersama Z_{1M} ^[10]

Pendekatan dengan konsep resonansi magnetik adalah untuk menghasilkan kopling magnetik yang lebih besar sehingga mengurangi induktansi bocor dan rugi-rugi transfer sehingga efisiensi transfer energi menjadi lebih besar. Pada transformator, karakteristik frekuensi tidak begitu berpengaruh karena transformator bekerja pada frekuensi rendah dan jauh dari frekuensi resonansinya. Namun pada *wireless energi transfer*, rangkaian bekerja pada frekuensi resonansi antenna induktifnya. Ketika kedua antenna induktif memiliki induktansi yang sama maka berlaku persamaan (2.9) (Sanghoon Cheon et al., 2010).

$$\omega_0^2 L_1 C_1 = \omega_0^2 L_2 C_2 = 1 \quad (2.9)$$

Impedansi pada frekuensi resonansi memenuhi persamaan (2.10)

$$Z_{in} = \frac{1}{j\omega_0 C_1} // (j\omega_0 L_1 + Z_{1M}) = \frac{1}{\omega_0 C_2} // (j\omega_0 L_2 (1 - k_{12}^2) + k_{12}^2 Z_0) \quad (2.10)$$

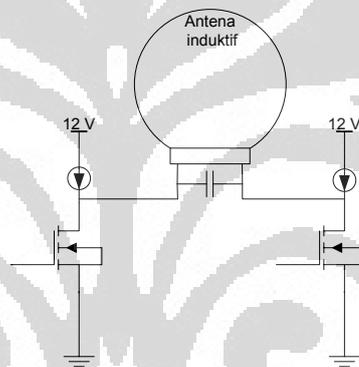
Ketika resistansi kapasitif diabaikan dan kopling koefisien K_{12} adalah satu, nilai Z_{in} sama dengan Z_0 maka secara teoritis efisiensi kopling menjadi 100%. Koefisien kopling K_{12} akan turun ketika jarak antara keduanya diperbesar. Nilai impedansi Z_{in} dan Z_0 mempengaruhi efisiensi kopling medan magnetik. Ketika nilai keduanya berbeda jauh maka efisiensi kopling akan turun akibat ketidakcocokan impedansi (*impedance mismatch*)[10].

Dapat ditarik kesimpulan bahwa transfer daya maksimum terjadi ketika rangkaian transmitter dan receiver beresonansi, konstanta kopling bernilai satu dan impedansi Z_{in} dan Z_0 yang sama.

2.6. Rangkaian Osilator

Rangkaian osilator merupakan jantung dari teknologi *wireless power transfer*. Osilator berfungsi membangkitkan gelombang sinus dengan frekuensi tinggi. Rangkaian osilator dikombinasikan dengan rangkaian amplifier sehingga dihasilkan gelombang dengan frekuensi dan daya yang tinggi.

Rangkaian osilator dibangun dengan menggunakan komponen aktif mosfet dan kombinasi komponen pasif induktor dan kapasitor. Frekuensi yang dihasilkan oleh osilator dirumuskan dengan persamaan (2.11). Nilai L dan C akan mempengaruhi frekuensi yang dihasilkan oleh osilator. Ketika impedansi ekivalen rangkaian antenna induktif diperbesar, maka frekuensi akan semakin rendah.



Gambar 2.12. Model rangkaian osilator *transmitter* dengan antenna induktif

Persamaan frekuensi resonansi antenna induktif sebagai fungsi dari induktansi dan kapasitansi[3].

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.11)$$

Dimana: f = Frekuensi osilator(Hertz)

L = Induktansi ekivalen rangkaian(Henry)

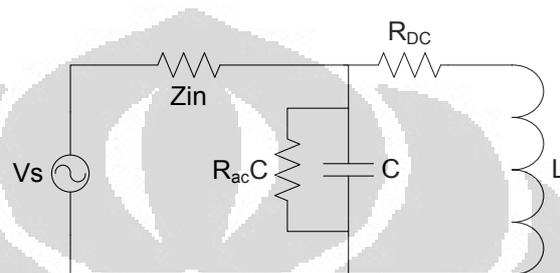
C = Kapasitansi ekivalen(Farad)

Ketika rangkaian osilator menghasilkan frekuensi yang sama atau mendekati frekuensi resonansi antenna induktif maka dihasilkan medan magnetik resonansi. Medan magnetik resonansi tersebut merupakan bentuk energi yang dikirimkan oleh antenna induktif. Medan magnetik tersebut ditangkap oleh

rangkaian *receiver* dengan frekuensi resonansi antena induktif yang sama sehingga akan terjadi kopling magnetik dan terjadi transfer energi.

2.7. Disipasi Daya pada Rangkaian Transmitter

Disipasi daya pada rangkaian transmiter terbagi menjadi dua. Pertama adalah disipasi pada rangkaian internal osilator dan kedua adalah disipasi daya pada antena induktif.



Gambar 2.13. Model DC Impedansi pengganti osilator

Daya yang terdisipasi pada rangkaian internal osilator direpresentasikan dengan impedansi Z_{in} dari rangkaian tersebut. Sedangkan rugi-rugi pada antena induktif meliputi dan rugi-rugi daya magnetisasi dan rugi-rugi akibat pengaruh frekuensi tinggi pada antena induktif.

Daya yang terdisipasi pada rangkaian osilator dapat di rumuskan dengan persamaan (2.12).

$$P = \frac{V_s^2}{Z_{in}} \quad (2.12)$$

Dimana P = daya disipasi rangkaian transmiter(Watt)

V_s = Tegangan sumber(Volt)

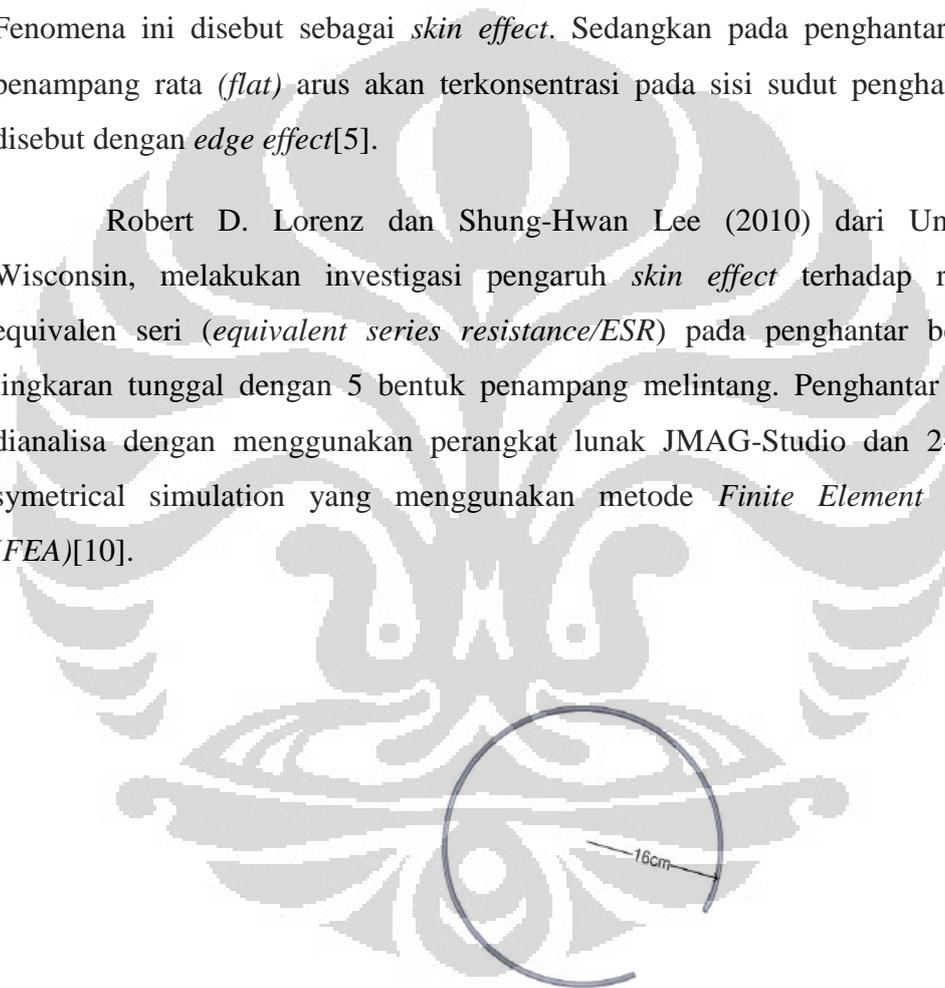
Z_{in} = Impedansi ekivalen rangkaian transmiter(ohm)

Disipasi daya pada rangkaian *wireless power supply* dipengaruhi oleh frekuensi, dimensi antena induktif dan impedansi rangkaian osilator. Ketika rangkaian bekerja pada frekuensi tinggi semakin besar rugi-rugi yang terjadi pada antena induktif dan rangkaian osilator.

2.8. Pengaruh Frekuensi Tinggi pada Penghantar Berarus

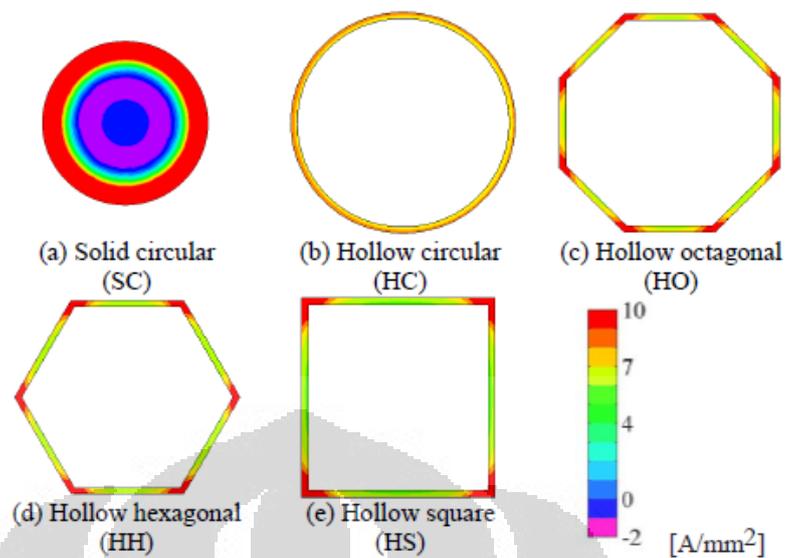
Menurut H. B. Dwight (1918), arus AC yang mengalir pada penghantar akan mengakibatkan terjadinya medan magnet disekitar pusatnya sehingga terjadi perubahan kerapatan arus pada penghantar tersebut. Akibat medan magnet tersebut, arus cenderung mengalir pada permukaan penghantar menjauhi titik pusatnya. Semakin tinggi frekuensi arus AC maka semakin besar medan magnet tersebut sehingga arus akan mengalir hanya pada permukaan penghantar saja. Fenomena ini disebut sebagai *skin effect*. Sedangkan pada penghantar dengan penampang rata (*flat*) arus akan terkonsentrasi pada sisi sudut penghantar dan disebut dengan *edge effect*[5].

Robert D. Lorenz dan Shung-Hwan Lee (2010) dari Universitas Wisconsin, melakukan investigasi pengaruh *skin effect* terhadap resistansi ekuivalen seri (*equivalent series resistance/ESR*) pada penghantar berbentuk lingkaran tunggal dengan 5 bentuk penampang melintang. Penghantar tersebut dianalisa dengan menggunakan perangkat lunak JMAG-Studio dan 2-D axis-symetrical simulation yang menggunakan metode *Finite Element Analysis (FEA)*[10].

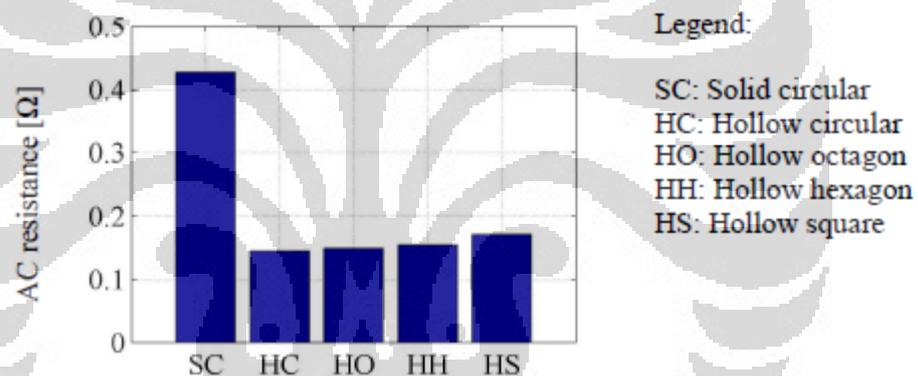


Gambar 2.14. Penghantar lingkaran tunggal^[10]

Hasil simulasi perangkat lunak (gambar 2.15), menunjukkan bahwa pada penghantar silinder pejal terdapat arus negatif yang mengalir pada pusatnya sedangkan pada 4 jenis penampang lain hanya terdapat arus positif.



Gambar 2.15. Distribusi arus pada penampang melintang penghantar^[10]



Gambar 2.16. Resistansi akibat *skin effect*^[10]

Penampang melintang *tubing* (*hollow circular*) menunjukkan resistansi terkecil dibandingkan bentuk penampang lainnya. Konsentrasi arus tersebar merata pada permukaan penghantar tersebut karena ketebalan penghantar *hollow circular* sama dengan *skin depth*. Sedangkan pada bentuk penampang lain terjadi ketidak-seragaman konsentrasi arus, terutama pada bagian sisi-sisinya. Karena memiliki rugi-rugi *skin effect* yang kecil dibandingkan bentuk lainnya, penghantar *hollow circular* umum dipakai pada aplikasi *wireless power transfer*.

Resistansi *skin effect* dipengaruhi oleh panjang penghantar, diameter antena, hambatan-jenis material penghantar dan frekuensi. Frekuensi mempengaruhi *skin depth*, yaitu ketebalan penampang yang teraliri oleh arus listrik. Ketika

frekuensi semakin besar maka *skin depth* akan semakin kecil, akibatnya luas penampang penghantar yang dialiri arus listrik semakin kecil dan mengakibatkan kenaikan hambatan *skin effect*. Menurut Grover (Inductance,1973,p.265-273) rumus pendekatan untuk menghitung nilai *R_{skin effect}* pada penghantar solidcircular ditunjukkan oleh persamaan (2.13a) dan penghantar tubing pada persamaan (2.13b). Sedangkan persamaan *skin depth* ditunjukkan oleh persamaan (2.14) (microwave, n.d)[8,9].

$$R_{ac \text{ SolidCircular}} = \frac{l \times 4.15 \times 10^{-8}}{\rho} \sqrt{f} \quad (2.13a)$$

$$R_{ac \text{ Tubing}} = \frac{l \times 4.15 \times 10^{-8}}{r} \sqrt{f} \quad (2.13b)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{2\pi f \mu_0 \mu_r}} \quad (2.14)$$

Dimana: R_{ac} = Resistansi AC akibat *skin effect* (ohm)

l = Panjang penghantar(m)

r = Radius penghantar(m)

$\mu_0 \mu_r$ = Permittifitas relatif bahan(H/m)

δ = *Skin depth*(μm)

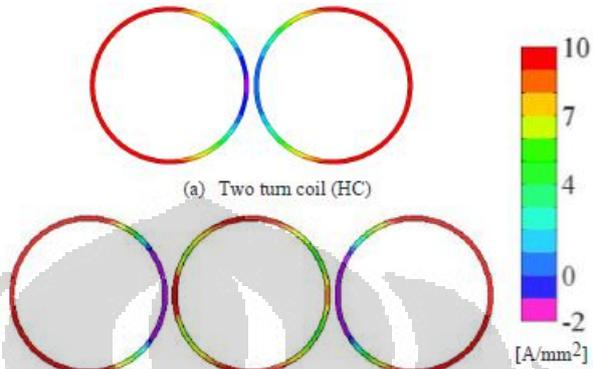
f = Frekuensi(Hz)

ρ = Hambatan jenis bahan(ohm meter)

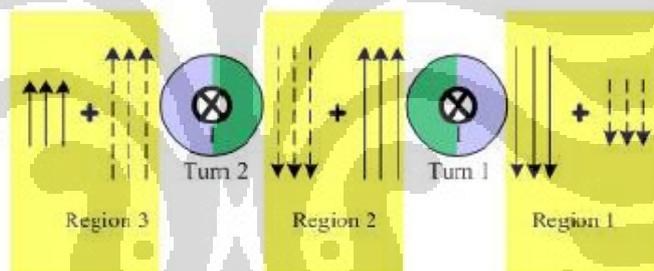
2.9. Pengaruh Jarak Penghantar pada Antena Induktif

Berbagai desain antena dikembangkan untuk meningkatkan kerapatan medan magnet sehingga kapasitas pengiriman energi dapat terus ditingkatkan. Salah satu metodenya adalah memperbanyak jumlah lilitan antena. Namun ternyata terjadi interaksi yang saling melemahkan diantara lilitan yang letaknya

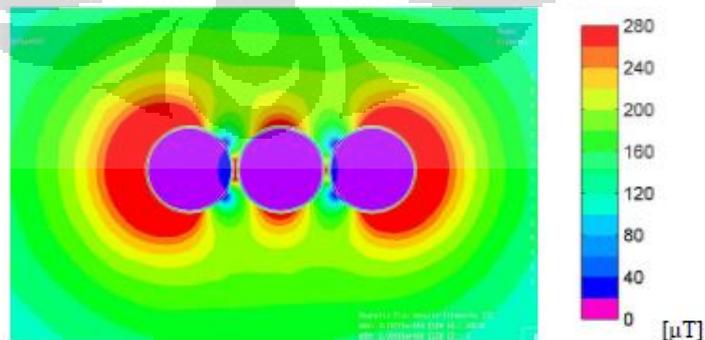
berdekatan dan disebut dengan *proximity effect*. Interaksi medan magnet diantara penghantar yang berdekatan mengakibatkan perubahan kerapatan muatannya.



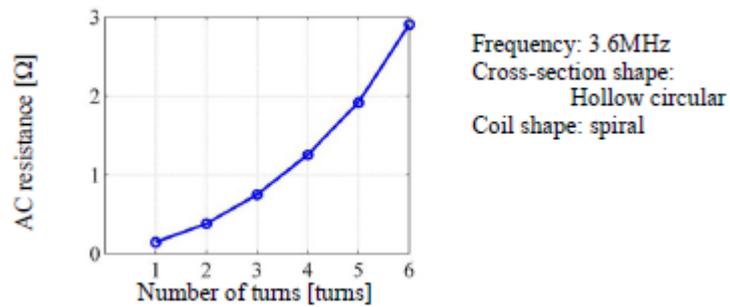
Gambar 2.17. Distribusi arus pada penampang dengan 6 lilitan^[10]



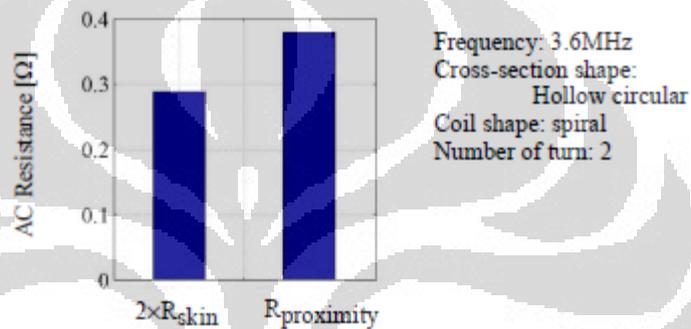
Gambar 2.18. Interaksi medan magnet antar penghantar yang berdekatan^[10]



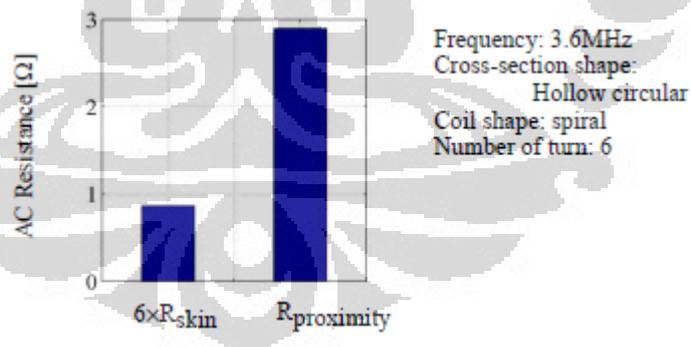
Gambar 2.19. Intensitas flux magnet pada penghantar^[10]



Gambar 2.20. Resistansi equivalen terhadap jumlah lilitan^[10]



Gambar 2.21. Resistansi equivalen penghantar dengan 2 lilitan^[10]



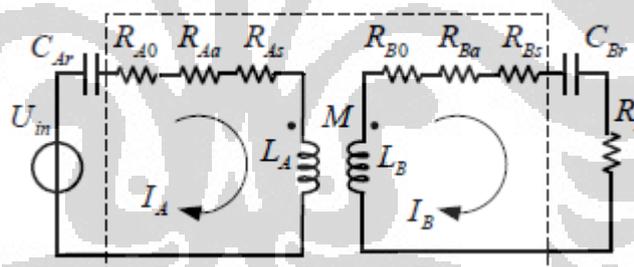
Gambar 2.22. Resistansi equivalen penghantar dengan 6 lilitan^[10]

Pada gambar 2.18, garis tegas menunjukkan interaksi fluks magnetik yang saling menguatkan sedangkan garis terputus-putus menunjukkan interaksi yang saling melemahkan. Semakin banyak lilitan ternyata mengakibatkan kerapatan muatan semakin tidak merata sehingga rugi-rugi *proximity effect* semakin besar.

Pada penghantar dengan 6 lilitan, rugi-rugi *proximity effect* bahkan menjadi lebih besar dari rugi-rugi *skin effect*nya.

Akibat kedua rugi-rugi yang terjadi akibat frekuensi dan desain antena induktif maka model pada gambar 2.9 dapat diganti dengan menambahkan pengaruh *R_{skin effect}* (R_s) dan *R_{proximity effect}* (R_p). Rugi-rugi lain yang terjadi adalah rugi-rugi magnetisasi (R_a) akibat medan magnetik yang dihasilkan rangkaian *transmitter* tidak tertangkap seluruhnya oleh rangkaian *receiver*. Semakin besar jarak antara *transmitter* dan *receiver* maka semakin besar rugi-rugi magnetisasi.

Penelitian yang dilakukan tim riset Universitas Indonesia menggunakan antena induktif jenis *hollow circular* dengan lilitan tunggal sehingga dapat dimodelkan seperti gambar 2.23. R_{A0}, R_{B0} adalah resistansi DC penghantar; R_{Aa}, R_{Ba} adalah representasi rugi-rugi magnetisasi; dan R_{As}, R_{Bs} adalah resistansi *skin effect* akibat frekuensi tinggi sedangkan *R_{proximity effect}* dianggap tidak ada.

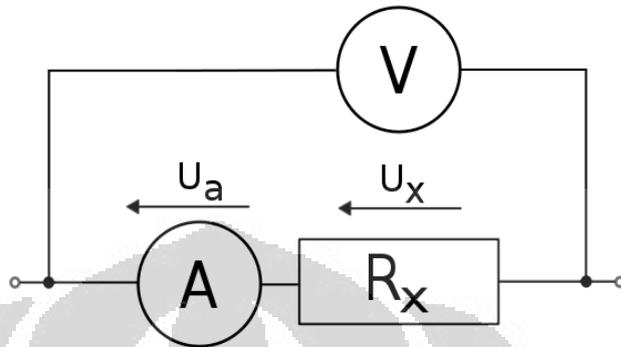


Gambar 2.23. Rangkaian ekuivalen antena induktif^[4]

2.10. Pengukuran Arus dan Tegangan dengan Multimeter

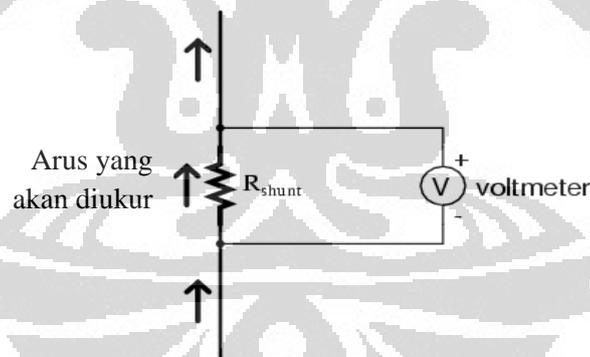
Terdapat 2 metode pengukuran tegangan dan arus pada beban yaitu secara langsung dan secara tidak langsung. Metode langsung pengukuran tegangan dengan alat ukur dilakukan dengan menghubungkan voltmeter secara paralel dengan beban sedangkan pengukuran arus dilakukan dengan menghubungkan ampere meter secara seri dengan beban[2].

Metode tak langsung adalah dengan mengukur tegangan pada sebuah beban yang telah diketahui tahanannya. Tampak pada gambar 2.24 dan gambar 2.25 metode pengukuran secara langsung dan tak langsung.



Gambar 2.24 Pengukuran Arus langsung

Pada pengukuran secara langsung seperti gambar 2.24, besarnya arus U_a yang mengalir pada tahanan R_x diketahui secara langsung dengan membaca nilai pengukuran ampere meter A.



Gambar 2.25 Pengukuran arus secara tak langsung

Pengukuran arus secara tidak langsung seperti gambar 2.25, melakukan pengukuran arus melalui tegangan jatuh pada R_{shunt} . Arus yang mengalir pada rangkaian tersebut dapat dihitung dengan persamaan (2.15) berikut:

$$I = \frac{V}{R_{shunt}} \quad (2.15)$$

Dimana: I = Arus(A)

V= Tegangan Terukur(Volt)

Rshunt= Hambatan ukur(Ohm)

2.11. Pengukuran dengan Osiloskop

Osiloskop merupakan adalah alat yang digunakan untuk menganalisa tingkah laku besaran yang berubah-ubah terhadap waktu yang ditampilkan pada layar. Pada pengukuran tegangan AC menggunakan multimeter, nilai tegangan yang terbaca adalah nilai efektif tegangan (*root mean square/rms*). Namun pengukuran tegangan dengan osiloskop akan tampak nilai tegangan puncak dan nilai frekuensi dari tegangan yang diukur. Oleh karena itu dikenal istilah tegangan maksimum dan tegangan efektif yang dirangkai dengan persamaan (2.16) dan (2.17)[2].

$$V_{eff} = \sqrt{\frac{V_{maks}^2}{2}} \quad (2.16)$$

$$V_{eff} = \frac{V_{maks}}{\sqrt{2}} \quad (2.17)$$

Dimana : V_{eff} = Tegangan efektif/Root mean square (volt)

V_{maks} = Tegangan puncak gelombang (volt)



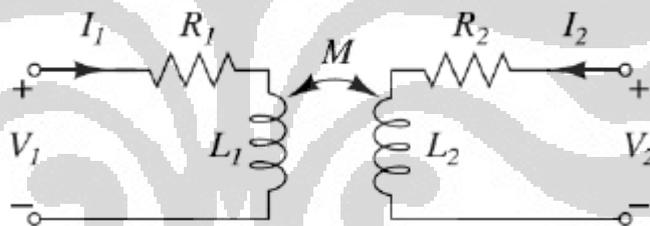
Gambar 2.26 Osiloskop

Pada beberapa kasus pengukuran besaran listrik, beberapa fenomena gelombang listrik tidak terukur melalui multimeter. Diantaranya fenomena transien gelombang dan pengukuran tegangan dan arus pada frekuensi tinggi. Keterbatasan pada rangkaian internal multimeter tidak memungkinkan untuk dapat mengukur fenomena tersebut. Dengan osiloskop, gelombang listrik dapat ditampilkan dan lebih mudah untuk dianalisa.

3.1 Model Antena Induktif

Pada wireless power supply dengan prinsip resonansi magnetik, tidak menghasilkan radiasi gelombang radio sehingga antena dapat dianggap sebagai induktor dan resistor. Medan *near-field* tidak menghasilkan propagasi gelombang elektromagnetik. Resonansi magnetik menghasilkan kemampuan untuk mengirimkan energi secara efisien karena mengurangi induktansi bocor dan rugi-rugi saat pengiriman energi (Seung-Hwan Lee., Robert D. Lorent.,2010. p. 885-892)[13].

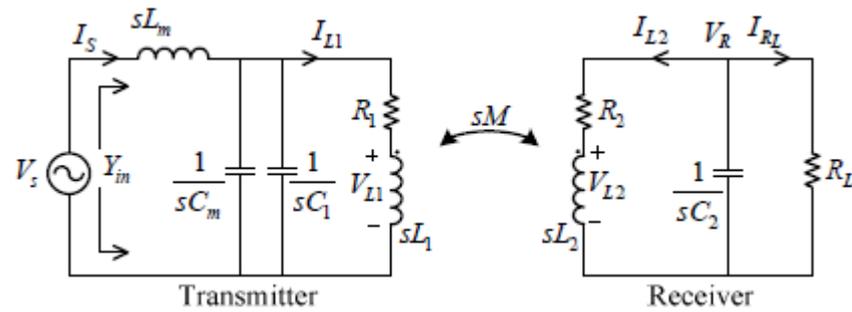
Pada rangkaian pengganti DC antena induktif wireless power supply adalah induktansi dan resistansi seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Model DC antena induktif^[12]

Ketika rangkaian dicatu oleh dengan sumber AC dengan frekuensi tinggi maka akan timbul rugi-rugi akibat *skin effect* dan rugi-rugi magnetisasi. Gambar rangkaian 3.2 menunjukkan antena induktif yang terhubung dengan kapasitor secara paralel.

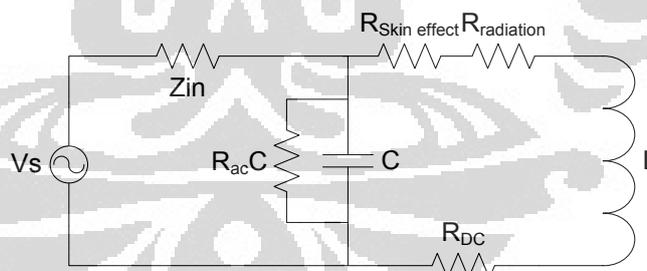
Pada rangkaian osilator dengan jenis *self oscillating*, frekuensi yang dihasilkan ditentukan oleh kapasitor dan antena induktif tersebut. Frekuensi yang dihasilkan tersebut merupakan frekuensi resonansinya sehingga dapat menghasilkan medan magnetik resonansi.

Gambar 3.2. Model AC antenna induktif^[13]

Frekuensi resonansi dari antenna induktif yang dihasilkan di rumuskan dengan persamaan (2.11). Pada rangkaian percobaan digunakan kapasitor C dengan nilai kapasitansi 34nF.

3.2 Model Rangkaian Ekuivalen Transmitter

Pada frekuensi tinggi terjadi *skin effect* pada penghantar antenna induktif. Semakin besar frekuensi maka resistansi AC penghantar semakin besar. Rugi-rugi juga ditimbulkan oleh kapasitor karena kapasitor memiliki resistansi ekuivalen AC (*equivalent series resistance/ESR*) sebagai rangkaian penggantinya.



Gambar 3.3. Rangkaian ekuivalen AC Transmitter

Ketika bekerja pada frekuensi tinggi $R_{skin\ effect}$ akan dominan dibandingkan dengan resistansi DC. Pertambahan panjang penghantar memberikan pengaruh besar terhadap kenaikan resistansi AC penghantar dibandingkan kenaikan frekuensinya.

3.3 Sistematika Pengujian Antena Induktif

Pengukuran tegangan dan arus pada alat pengirim tegangan nirkabel dilakukan pada mode tegangan DC. Terdapat dua jenis antena induktif yang diuji, yaitu antena induktif pejal (*solid circular*) dan antena induktif berongga (*tubing*). Keduanya terbuat dari bahan tembaga dan memiliki diameter 2.5 milimeter. Diameter dalam (*inner diameter*) penghantar berongga adalah 1.23mm dan ketebalan 0.635mm.



Gambar 3.4. Penampang melintang antena induktif

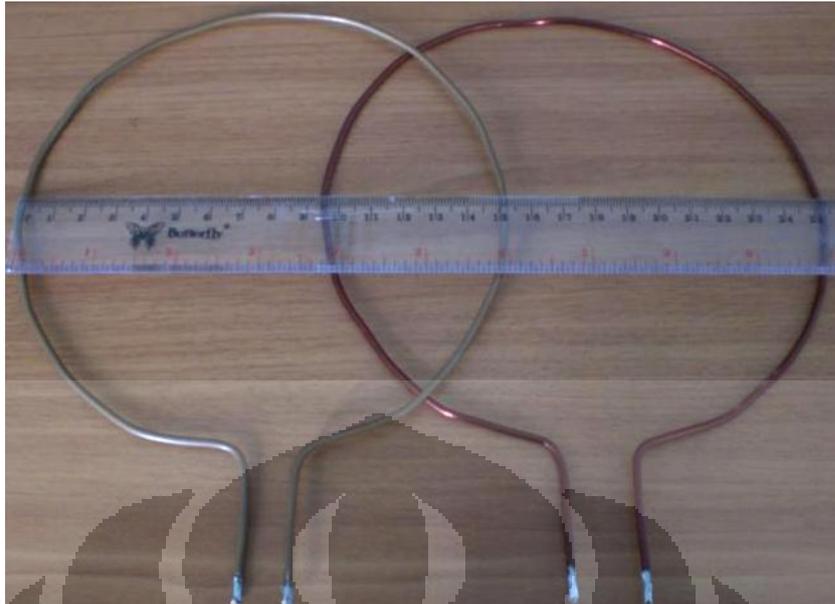
Rangkaian *transmitter* dicatu dengan sumber tegangan DC, melalui rangkaian osilator dibangkitkan sinyal yang sesuai dengan frekuensi resonansi antena.

Sistematika pengujian dimulai dengan bentuk antena induktif diameter 5cm hingga diameter 25cm. Pada setiap antena ditambahkan *feedline* dengan panjang masing-masing 4cm yang berfungsi untuk menghubungkan antena induktif dengan rangkaian. Sehingga panjang keseluruhan antena induktif dapat dihitung secara matematis dengan menghitung keliling antena dan menambahkan panjang 8cm. Secara matematis dapat ditulis:

$$L_{antena} = (\pi \cdot D + 8)cm \quad (3.1)$$

Dimana L_{antena} = Panjang antena(cm)

D = Diameter antena(cm)



Gambar 3.5 Antena induktif diameter 15 cm

Pengujian didahului dengan pengukuran resistansi DC dan induktansi antena induktif menggunakan RCL meter. Pada pengujian digunakan Boonton 5110 RCL meter yang dapat mengukur resistansi hingga skala mili-ohm.



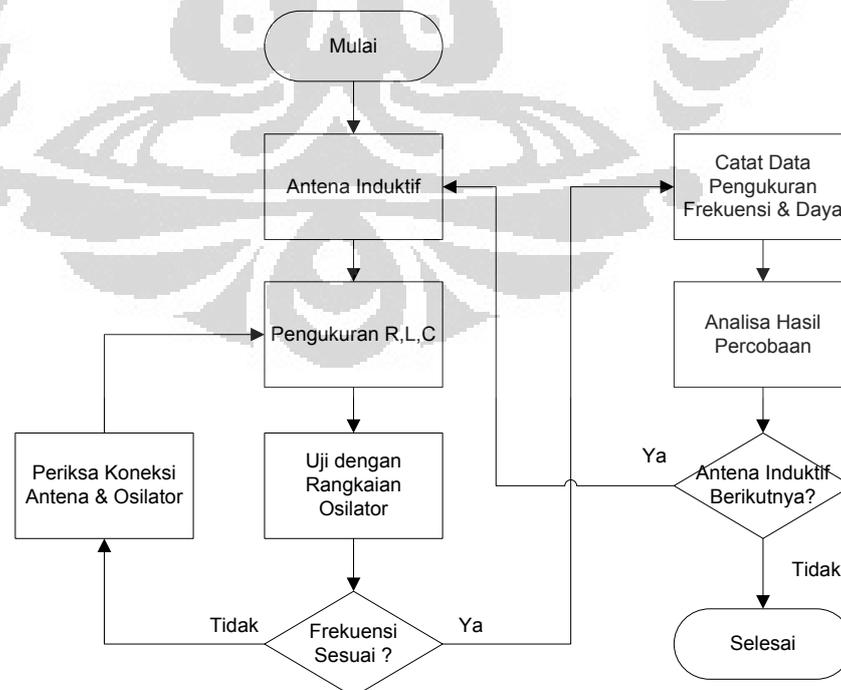
Gambar 3.6 Bontoon 5100 RCL meter

Langkah selanjutnya adalah menghubungkan antena induktif dengan rangkaian osilator. Teknik *soldering* yang baik harus tampak mengkilat dan melekat dengan baik dengan permukaan PCB.



Gambar 3.7 Koneksi antenna dengan rangkaian osilator

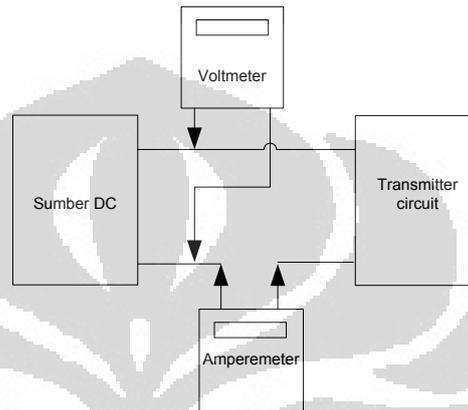
Flowchart pengukuran antenna induktif tampak pada gambar 3.8 berikut.



Gambar 3.8. Sistematika pengukuran

3.4 Pengukuran Daya pada *Transmitter*

Pengukuran arus dan tegangan dilakukan pada *mode* DC, menggunakan multimeter digital. Melalui pengukuran ini, akan diketahui daya yang digunakan oleh rangkaian *transmitter* untuk menghasilkan medan magnetik resonansi serta pengaruh frekuensi tinggi pada antena induktif yang berkaitan dengan rugi-rugi frekuensi tinggi yang ditimbulkan.



Gambar 3.9. Rangkaian pengukuran arus dan tegangan pada transmitter

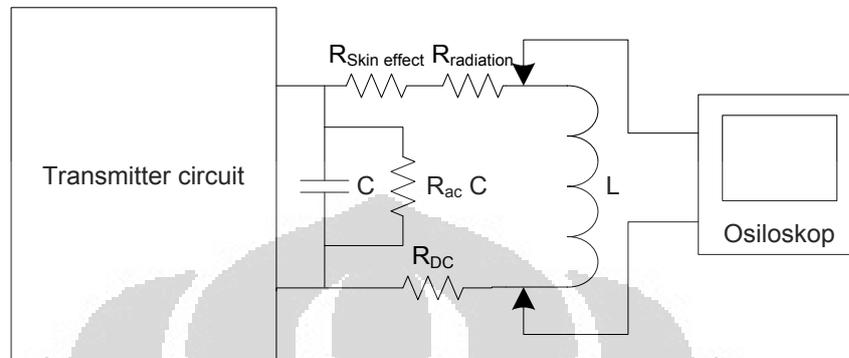


Gambar 3.10. Pengukuran arus pada *transmitter*

3.5 Pengukuran Frekuensi dengan Osiloskop

Pengukuran frekuensi dengan osiloskop dilakukan dengan menghubungkan *probe* osiloskop secara paralel dengan antena induktif. Layar

osiloskop akan menampilkan bentuk gelombang sinus sehingga dapat diketahui nilai puncak gelombang, tegangan *rms* dan frekuensinya.



Gambar 3.11. Skematik pengukuran frekuensi dengan osiloskop

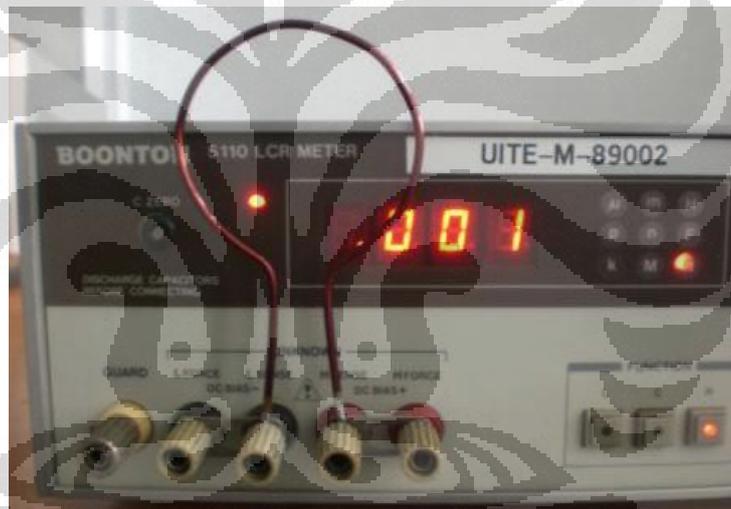
Peran osiloskop penting untuk menganalisa gelombang frekuensi tinggi yang dihasilkan rangkaian osilator. Ketika terjadi kegagalan fungsi rangkaian osilator, maka gelombang yang dihasilkan juga tidak sempurna. Untuk memastikan rangkaian telah bekerja pada kondisi *steady-state*, pengambilan data pengukuran arus, tegangan dan frekuensi dilakukan setelah rangkaian dinyalakan selama 10 menit.

BAB IV

HASIL PENGUKURAN

4.1 Pengukuran Resistansi DC dan Induktansi Antena

Antena induktif yang digunakan pada percobaan adalah antena induktif tembaga dengan penampang pejal (*SolidCircular*) dan berongga (*tubing*). Pengukuran resistansi DC dan induktansi dari antena induktif dilakukan menggunakan Boonton S110 RCL meter. Dimulai dengan antena induktif pejal diameter 5cm hingga diameter 25cm kemudian dilanjutkan dengan antena induktif berongga dengan urutan yang sama.



Gambar 4.1. Pengukuran R_{DC} dengan RCL meter

Tabel 4.1 Pengukuran R & L antena *SolidCircular*

Antena <i>SolidCircular</i>			
No	Diameter Loop	R(ohm)	L (uH)
1	5	0.001	0.2
2	10	0.001	0.4
3	15	0.002	0.5
4	20	0.004	0.7
5	25	0.005	0.9

Tabel 4.2. Pengukuran R & L antena *Tubing*

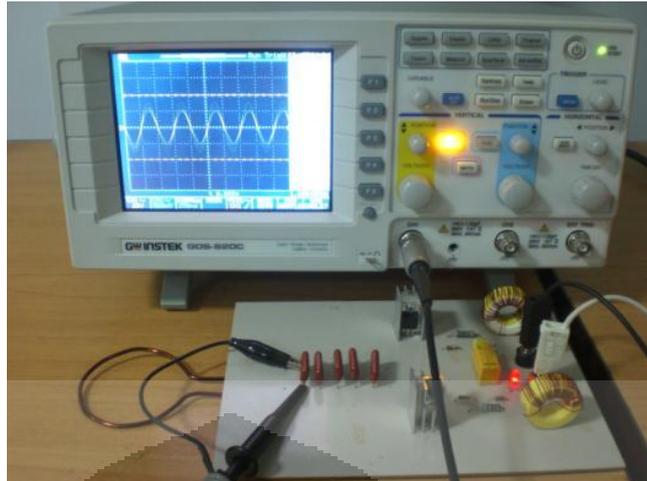
Antena <i>Tubing</i>			
No	Diameter Loop	R(ohm)	L (uH)
1	5	0.001	0.2
2	10	0.002	0.3
3	15	0.003	0.5
4	20	0.004	0.7
5	25	0.007	0.8

Diameter penghantar mempengaruhi nilai induktansi dan resistansi DC. Semakin besar diameter antena induktif maka induktansi dan resistansi juga semakin besar.

Pada tabel 4.1 pengukuran nilai resistansi penghantar kabel pejal menunjukkan angka yang sama untuk diameter 5cm dan 10 cm yaitu 0.001 ohm. Percobaan diulang beberapa kali, namun RCL meter tetap menunjukkan nilai yang sama. Penyebabnya adalah perbedaan resistansi DC penghantar tersebut cukup kecil sehingga tidak terukur pada skala mili-ohm oleh peralatan RCL meter.

4.2 Pengukuran Frekuensi Antena Induktif

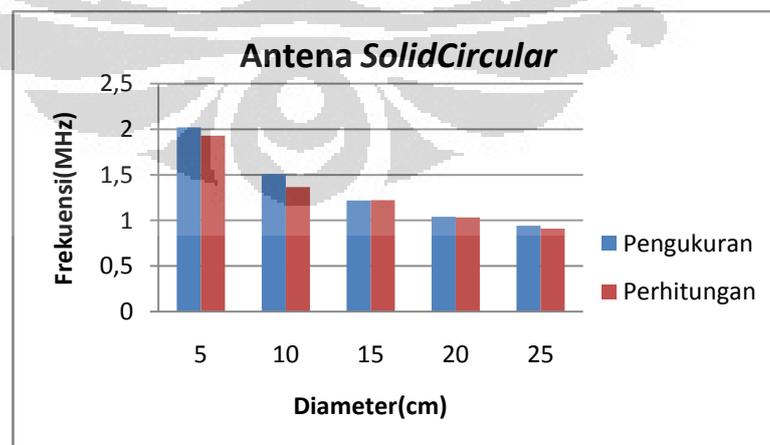
Pengukuran frekuensi pada masing-masing antena dilakukan menggunakan osiloskop dengan menghubungkan *probe* osiloskop pada ujung-ujung antena induktif. Hasil pengukuran frekuensi dan data perhitungan ditunjukkan tabel 4.3 dan tabel 4.4.



Gambar 4.2. Antena induktif pada wireless power supply

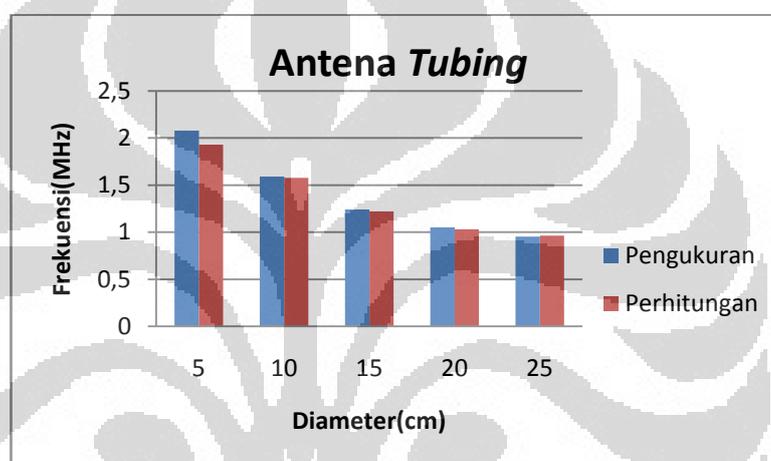
Tabel 4.3 Pengukuran dan perhitungan frekuensi antena *SolidCircular*

Antena <i>SolidCircular</i>					
No	Diameter Loop	C(uF)	L (uH)	Frekuensi(MHz)	
				Pengukuran	Perhitungan
1	5	34	0.2	2.02	1.93
2	10	34	0.4	1.51	1.36
3	15	34	0.5	1.22	1.22
4	20	34	0.7	1.04	1.03
5	25	34	0.9	0.943	0.91

Gambar 4.3. Frekuensi vs Diameter pada antena *SolidCircular*

Tabel 4.4 Pengukuran dan perhitungan frekuensi antenna *Tubing*

Antena <i>Tubing</i>					
No	Diameter Loop	C(uF)	L (uH)	Frekuensi(MHz)	
				Pengukuran	Perhitungan
1	5	34	0.2	2.08	1.93
2	10	34	0.3	1.59	1.58
3	15	34	0.5	1.24	1.22
4	20	34	0.7	1.05	1.03
5	25	34	0.8	0.952	0.97

Gambar 4.4. Frekuensi vs Diameter pada Antena *Tubing*

Gambar 4.4 diatas menunjukkan bahwa frekuensi resonansi yang dihasilkan osilator semakin rendah ketika diameter antenna induktif diperbesar. Hal tersebut berkaitan dengan induktansi antenna induktif. Sesuai dengan persamaan (2.11) frekuensi osilator ditentukan oleh nilai L dan C antenna induktif. Ketika diameter antenna diperbesar maka induktansi penghantar semakin besar sehingga frekuensi resonansi antenna menjadi semakin kecil.



Gambar 4.5. Frekuensi antenna dipengaruhi diameter

Perbedaan antara frekuensi pengukuran dan hasil perhitungan disebabkan terdapat kapasitansi liar (*stray capacitance*) yang dipengaruhi oleh koneksi antara antenna dengan rangkaian osilator. Pada beberapa pengamatan, teknik *soldering* yang kurang sempurna mengakibatkan perubahan frekuensi antenna resonansi. Pada percobaan dilakukan penyolderan sebaik-baiknya, namun tetap terdapat perbedaan hasil pengukuran dengan perhitungan. Akan tetapi perbedaan nilai tersebut masih menunjukkan hubungan antara hasil pengukuran dan perhitungan.

Dari tabel 4.5 kenaikan frekuensi terbesar pada antenna pejal terjadi ketika diameter 10cm menjadi 5cm yaitu 0.49MHz dan kenaikan terkecil ketika diameter 25cm menjadi 20cm yaitu 0.098MHz. Sedangkan tabel 4.6 kenaikan frekuensi terbesar pada antenna berongga terjadi ketika diameter 10cm menjadi 5cm yaitu 0.51MHz dan kenaikan terkecil ketika diameter 25cm menjadi 20cm yaitu 0.097MHz.

Tabel 4.5 Selisih frekuensi terhadap perubahan diameter antenna *solid circular*

Antena <i>Solid Circular</i>				
No	Diameter Loop		Interval	Kenaikan Frekuensi (MHz)
	Awal	Akhir		
1	10	5	5	0.49
2	15	10	5	0.35
3	20	15	5	0.19
4	25	20	5	0.098

Tabel 4.6 Selisih frekuensi terhadap perubahan diameter antenna *tubing*

Antena <i>Tubing</i>				
No	Diameter Loop		Interval	Kenaikan Frekuensi (MHz)
	Awal	Akhir		
1	10	5	5	0.51
2	15	10	5	0.29
3	20	15	5	0.18
4	25	20	5	0.097

4.3 Perhitungan *Skin Depth* pada Antena Induktif

Antena induktif menghasilkan frekuensi resonansi sesuai dengan nilai induktansinya. Frekuensi yang dihasilkan mengakibatkan terjadinya rugi-rugi

frekuensi tinggi pada antenna akibat *skin effect*. Berdasarkan persamaan (2.14), (2.13a) dan (2.13b) dapat dihitung nilai *skin depth* dan hambatan *skin effect* yang terjadi akibat frekuensi resonansi setiap antenna induktif.

Bahan tembaga memiliki hambatan jenis 1.69×10^{-18} ohm meter dan permitifitas bahan 1. Sehingga dapat diketahui *skin depth* pada masing-masing antenna induktif.

Hambatan jenis tembaga = 1.69×10^{-18} ohm meter

Permitifitas relatif tembaga = 1

Frekuensi = 2.02 MHz = 2.020.000Hz

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{2\pi f \mu_0 \mu_r}}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{2 \times 1.69 \times 10^{-18}}{2\pi \times 2.02 \times 10^6 \times 1}}$$

$$\delta = 46.035 \times 10^{-6} m = 46.035 \mu m$$

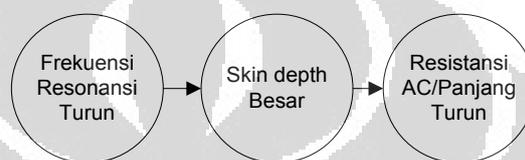
Tabel 4.7 Perhitungan Skin Depth pada antenna *Solid circular*

Antena <i>Solid Circular</i>				
No	Diameter Loop	R(ohm)	Frekuensi(MHz)	Skin depth(um)
1	5	0.001	2.02	46.035
2	10	0.001	1.51	53.245
3	15	0.002	1.22	59.236
4	20	0.004	1.04	64.157
5	25	0.005	0.943	67.376

Tabel 4.8 Perhitungan Skin Depth pada antenna *Tubing*

Antena <i>tubing</i>				
No	Diameter Loop	R(ohm)	Frekuensi(MHz)	Skin depth(um)
1	5	0.001	2.08	45.366
2	10	0.002	1.59	51.888
3	15	0.003	1.24	58.756
4	20	0.004	1.05	63.851
5	25	0.007	0.952	67.057

Pada data tabel 4.5 dan tabel 4.6 tampak bahwa nilai *skin depth* dari kedua antenna induktif dipengaruhi frekuensi resonansinya. Ketika frekuensi diperbesar maka tebal *skin depth* semakin kecil, akibatnya resistansi AC penghantar juga akan semakin besar. Dengan frekuensi yang hampir sama, *skin depth* yang terjadi pada antenna induktif pejal dan berongga juga mendekati angka yang sama.



Gambar 4.6. Frekuensi mempengaruhi resistansi AC

Perhitungan resistansi *skin effect* pada antenna pejal menggunakan persamaan (2.13a).

Panjang antenna=23.708cm,

Hambat jenis tembaga= 1.69×10^{-6} ohm-cm

frekuensi antenna=2.02MHz maka R_{ac} adalah

$$R_{ac \text{ SolidCircular}} = \frac{l \times 4.15 \times 10^{-8}}{\rho} \sqrt{f}$$

$$R_{ac \text{ SolidCircular}} = \frac{23.708 \times 4.15 \times 10^{-8}}{1.69 \times 10^{-6}} \sqrt{2020000}$$

$$R_{ac \text{ SolidCircular}} = 827.430 \text{ ohm}$$

Hasil perhitungan secara lengkap ditunjukkan oleh tabel berikut.

Tabel 4.9 Tabel perhitungan Rac antena *Solid Circular*

Antena <i>Solid Circular</i>						
No	Diameter Loop (cm)	Rdc (ohm)	Panjang antena(cm)	Frekuensi (MHz)	Rac (ohm)	Rac/panjang (ohm/cm)
1	5	0.001	23.708	2.02	827.430	34.900
2	10	0.001	39.416	1.51	1189.383	30.175
3	15	0.002	55.124	1.22	1495.138	27.123
4	20	0.004	70.832	1.04	1773.808	25.042
5	25	0.005	86.540	0.943	2063.637	23.846

Sedangkan perhitungan *skin effect* pada penghantar berongga menggunakan persamaan (2.13b).

Panjang antena=23.708cm,

R=0.125 cm

frekuensi antena=2.08MHz maka R_{ac} adalah

$$R_{ac \text{ Tubing}} = \frac{l \times 4.15 \times 10^{-8}}{r} \sqrt{f}$$

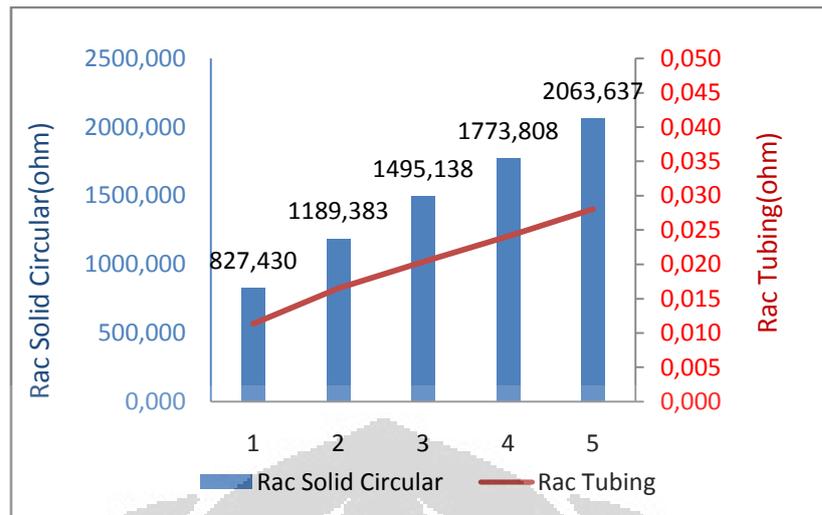
$$R_{ac \text{ Tubing}} = \frac{23.708 \times 4.15 \times 10^{-8}}{0.125} \sqrt{2080000}$$

$$R_{ac \text{ Tubing}} = 0.011 \text{ ohm}$$

Hasil perhitungan secara lengkap ditunjukkan tabel berikut

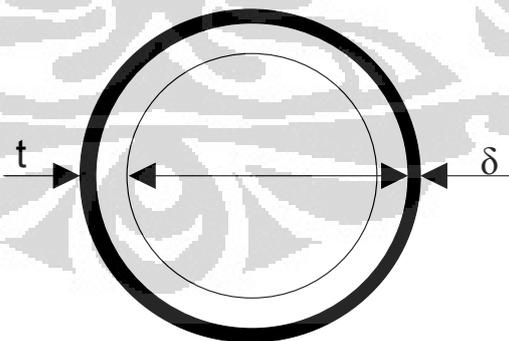
Tabel 4.10 Tabel perhitungan Rac antena *Tubing*

Antena <i>tubing</i>					
No	Diameter Loop	Rdc(ohm)	Panjang antenna(cm)	Frekuensi(MHz)	Rac(ohm)
1	5	0.001	23.708	2.08	0.011
2	10	0.002	39.416	1.59	0.017
3	15	0.003	55.124	1.24	0.020
4	20	0.004	70.832	1.05	0.024
5	25	0.007	86.540	0.952	0.028



Gambar 4.7 perbandingan Rac pejal & Rac berongga

Perbedaan hasil perhitungan Rac kedua jenis penghantar sangat besar. Jika diambil hasil perhitungan *skin depth* (δ) antena tubing pada frekuensi 952KHz yaitu 67.057um dan tebal penghantar (t) 0.635mm maka didapat perbandingan (*skin depth/thickness*) sebesar 10.56%. Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa arus listrik mengalir pada 10.56% bagian, dari total tebal penghantar tubing.

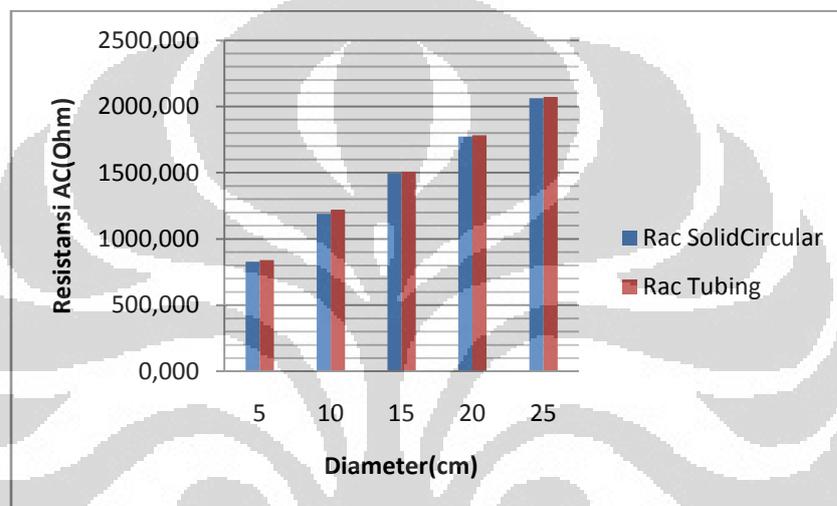


Gambar 4.8. Ilustrasi *skin depth* pada penghantar berongga

Karena angka perbandingan yang cukup kecil maka penulis melakukan pendekatan perhitungan reistansi AC penghantar berongga dengan menggunakan persamaan (2.13a). Hasil perhitungan didapatkan pada tabel (4.9).

Tabel 4.11 Tabel perhitungan Rac antenna *Tubing* dengan pendekatan Rac *Solid Circular*.

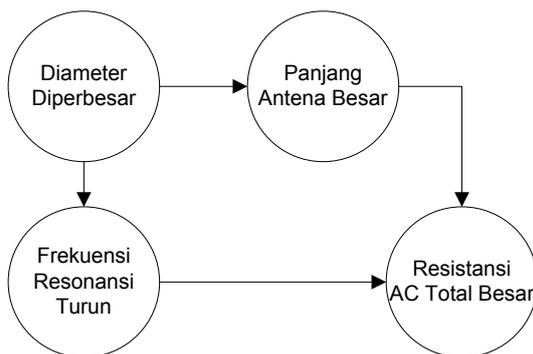
Antena tubing						
No	Diameter Loop(cm)	Rdc (ohm)	Panjang antenna(cm)	Frekuensi (MHz)	Rac (ohm)	Rac/panjang (ohm/cm)
1	5	0.001	23.708	2.08	839.629	35.41547
2	10	0.002	39.416	1.59	1220.483	30.96421
3	15	0.003	55.124	1.24	1507.343	27.34464
4	20	0.004	70.832	1.05	1782.316	25.16263
5	25	0.007	86.540	0.952	2073.461	23.95962



Gambar 4.9 Nilai Rac berongga dengan pendekatan Rac pejal

Angka perhitungan dengan menganggap antenna tubing sebagai antenna pejal menunjukkan angka yang relatif sama. Perbedaan nilai tersebut diakibatkan oleh perbedaan frekuensi antenanya. Data perhitungan tabel 4.8 dan 4.9 dapat dijadikan perbandingan untuk melakukan analisa pada pengukuran daya *transmitter* dan rugi-rugi pada antenna induktif.

Dari perhitungan resistansi AC tampak bahwa ketika diameter antenna induktif diperbesar maka frekuensi resonansi akan turun dan menyebabkan resistansi AC per satuan panjang menjadi turun. Namun penambahan diameter juga membuat panjang antenna semakin besar. Sesuai dengan persamaan (2.13a) dan (2.13b), penambahan panjang memberikan pengaruh lebih besar terhadap kenaikan resistansi AC dibandingkan kenaikan frekuensinya. Oleh karena itu, ketika diameter antenna diperbesar maka resistansi AC total akan semakin besar.



Gambar 4.10 Hubungan diameter dengan resistansi AC total pada antenna induktif

4.4 Pengukuran Daya *Transmitter* Antena Induktif

Pengukuran daya pada transmitter menggunakan voltmeter dan ampere meter. Daya input rangkaian diukur pada mode tegangan DC. Hasil pengukuran daya *transmitter* ditunjukkan pada tabel 4.10 dan tabel 4.11.

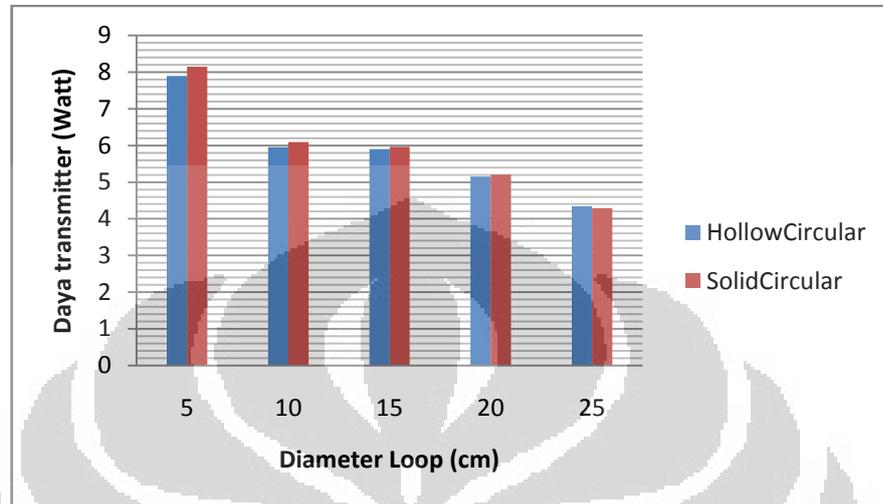
Tabel 4.12 Tabel pengukuran daya transmitter antena *Solid Circular*

Antena <i>SolidCircular</i>					
No	Diameter Loop	R(ohm)	Vin(Volt)	Iin(amp)	Ptransmitter(watt)
1	5	0.001	10.58	0.77	8.1466
2	10	0.001	11.28	0.54	6.0912
3	15	0.002	12.43	0.48	5.9664
4	20	0.004	12.4	0.42	5.208
5	25	0.005	11.6	0.37	4.292

Tabel 4.13 Tabel pengukuran daya transmitter antena *Tubing*

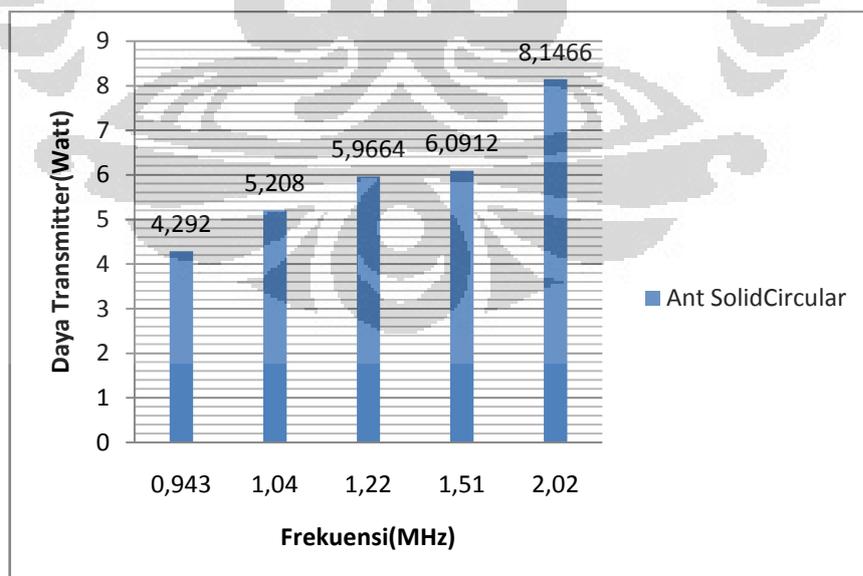
Antena <i>Tubing</i>					
No	Diameter Loop	R(ohm)	Vin(Volt)	Iin(amp)	Ptransmitter(watt)
1	5	0.001	10.53	0.75	7.8975
2	10	0.002	11.23	0.53	5.9519
3	15	0.003	12.3	0.48	5.904
4	20	0.004	12.26	0.42	5.1492
5	25	0.007	11.44	0.38	4.3472

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa terjadi kenaikan daya *transmitter* ketika diameter antena induktif diperkecil.

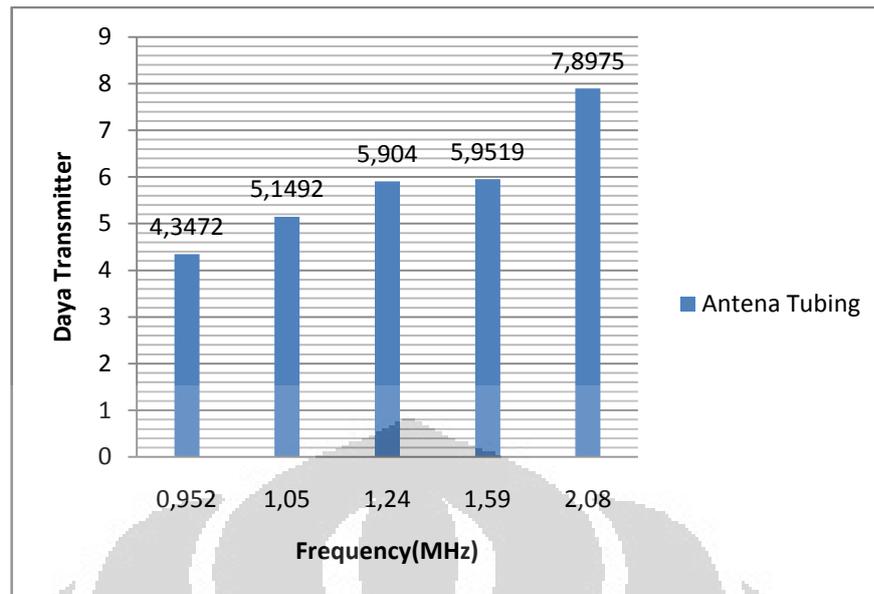


Gambar 4.11 Daya *transmitter* vs Diameter

Dari data pengukuran, dapat dibuat diagram hubungan antara frekuensi dan daya *transmitter* dengan antena induktif pejal dan berongga.



Gambar 4.12 Daya *transmitter* vs Frekuensi pada Antena *SolidCircular*



Gambar 4.13 Daya transmitter vs Frekuensi pada Antena Tubing

Pada grafik daya transmitter terhadap frekuensi menunjukkan kenaikan daya yang digunakan oleh rangkaian ketika frekuensi semakin besar.

Jika melihat data perhitungan *skin effect* tabel 4.8 dan hasil pengukuran daya transmitter tabel 4.10 dan 4.11 seharusnya daya transmitter yang menggunakan antena induktif berongga akan menghasilkan data yang berbeda jika dibandingkan dengan antena induktif pejal.

Daya transmitter berhubungan dengan impedansi total rangkaian yang juga dipengaruhi oleh *Rskin effect*. Hasil perhitungan pada kedua jenis antena induktif tersebut menunjukkan bahwa penambahan diameter antena mengakibatkan *Rskin effect* total semakin besar. Akibatnya ketika diameter antena induktif diperbesar maka daya transmitter akan turun.

Jika berpegang pada data tabel 4.8 dan hasil pengukuran daya transmitter dengan antena berongga, kedua data tersebut tidak merepresentasikan pengaruh *Rskin effect* terhadap impedansi total rangkaian. Namun dengan membuat asumsi antena berongga sebagai antena pejal berdasarkan data perbandingan *skin depth* terhadap ketebalan penghantar sebesar 10.56% pada frekuensi 952KHz, maka data pengukuran *Rskin effect* tersebut menunjukkan hubungan yang dapat menjelaskan fenomena daya transmitter tersebut.

Tabel. 4.14 Selisih daya *transmitter* terhadap diameter antenna *solid circular*

Antena <i>SolidCircular</i>				
No	Diameter Loop		Interval	Kenaikan daya (Watt)
	Awal	Akhir		
1	10	5	5	2.0554
2	15	10	5	0.1248
3	10	15	5	0.7584
4	25	20	5	0.916

Tabel 4.15 Selisih daya *transmitter* terhadap diameter antenna *tubing*

Antena <i>tubing</i>				
No	Diameter Loop		Interval	Kenaikan daya (Watt)
	Awal	Akhir		
1	10	5	5	1.9456
2	15	10	5	0.0479
3	20	15	5	0.7548
4	25	20	5	0.802

Statistik pengukuran tabel 4.14 menunjukkan kenaikan daya terbesar pada antenna pejal terjadi ketika diameter 10cm menjadi 5cm yaitu 2.0554 watt dan kenaikan daya terkecil ketika diameter 25cm menjadi 20cm sebesar 0.916watt. Sedangkan tabel 4.15 menunjukkan kenaikan daya terbesar pada antenna berongga terjadi ketika diameter 10cm menjadi 5cm yaitu 1.9456 watt dan kenaikan daya terkecil ketika diameter 15cm menjadi 10cm sebesar 0.0479watt.

BAB V

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pengukuran daya transmitter *wireless power supply* dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Ketika diameter antenna induktif diperbesar maka frekuensi resonansi akan turun dan menyebabkan resistansi AC per satuan panjang menjadi turun.
2. Pertambahan diameter memberikan pengaruh lebih besar terhadap kenaikan resistansi AC dibandingkan kenaikan frekuensinya.
3. Jika perbandingan *skin depth* tebal penampang sebesar 10.56% maka antenna *tubing* dapat diasumsikan sebagai antenna pejal.
4. Kenaikan frekuensi terbesar pada antenna pejal ketika terjadi diameter 10cm menjadi 5cm yaitu sebesar 0.49MHz dan kenaikan terkecil ketika diameter 25cm menjadi 20cm sebesar 0.098MHz.
5. Kenaikan frekuensi terbesar pada antenna berongga ketika terjadi diameter 10cm menjadi 5cm yaitu sebesar 0.51MHz dan kenaikan terkecil ketika diameter 25cm menjadi 20cm sebesar 0.097MHz.
6. Daya *transmitter* berhubungan dengan impedansi total rangkaian yang juga dipengaruhi oleh R *skin effect*.
7. Kenaikan daya terbesar pada antenna pejal terjadi ketika diameter 10cm menjadi diameter 5cm yaitu 2.0554 watt dan kenaikan daya terkecil ketika diameter 25cm menjadi 20cm sebesar 0.916 watt.
8. Kenaikan daya terbesar pada antenna berongga terjadi ketika diameter 10cm menjadi diameter 5cm yaitu 1.9456 watt dan kenaikan daya terkecil ketika diameter 15cm menjadi 10cm sebesar 0.0479 watt.

DAFTAR ACUAN

- [1]. A. Balanis, Constantine. (1997). *Antenna Theory*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [2]. Boylestad Robert L, Nashelsky Louis, "Electronic Device and Circuit Theory". (7th ed).
- [3]. 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*.
- [4]. Chunlai Yu., et al. (2009). Research on the Model of Magnetic-Resonance Based Wireless Energy Transfer System. *IEEE Journal*, p.414-418.
- [5]. Dwight, H.B.(1918). Skin Effect in Tubular and Flat Conductors. *AIEE Journal*. p.1379-1403.
- [6]. Eco friend (2010)
<http://www.ecofriend.com/entry/automotive-electrical-firms-developing-wireless-charging-systems-for-electric-and-plug-in/>
- [7]. GASTRO-COLON CLINIC(n.d)
http://www.gastro-colon.com/capsule_endoscopy
- [8]. Grower, Frederic W.(1973). *Inductance Calculation*. New York: Dover publication.
- [9]. Microwave 101(2011, May 5th).
<http://www.microwaves101.com/encyclopedia/calsdepth.cfm>
- [10]. Sanghoon Cheon., et al.(2010). Circuit Model Based Analysis of a Wireless Energy Transfer System via Couple Magnetic Resonances. *IEEE Journal*, p. 1-10.
- [11]. Shun Yao., et al(2009). Design of Wireless Power Supply Microsystem for Capsule Endoscope. *IEEE Journal*.
- [12]. 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.
- [13]. 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.

[14]. 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.

[15]. Wikipedia (n.d), June 2011.
http://en.wikipedia.org/wiki/Nikola_Tesla

[16]. Yoichi, Hori.(2010). Future Vehicle Society based on Electronic Motor, Capacitor and Wireless Power Supply. *IEEE Journal*, p. 2930-2934.

