



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN LAPISAN
ELEKTROPLATING NIKEL DAN KROM PADA ANTENA
PENERIMA (RX) SISTEM TRANSFER DAYA LISTRIK
NIRKABEL**

SKRIPSI

**ARRIYADHUL QOLBI
0706267540**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN LAPISAN
ELEKTROPLATING NIKEL DAN KROM PADA ANTENA
PENERIMA (RX) SISTEM TRANSFER DAYA LISTRIK
NIRKABEL**

SKRIPSI

diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**ARRIYADHUL QOLBI
0706267540**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI 2011**

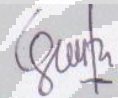
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Arriyadhul Qolbi

NPM : 0706267540

Tanda Tangan :



Tanggal : 30 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh,

Nama : Arriyadhul Qolbi
NPM : 0706267540
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Penambahan Lapisan Elektroplating
Nikel dan Krom Pada Antena Penerima (Rx) Sistem Transfer 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 : Ir. Amien rahardjo, M.T (.....)
Penguji : Aji Nur Widyanto S.T., M.T (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah mencurahkan segala nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan studinya di Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia dan menulis skripsi ini tepat pada waktunya. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak selama masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada::

1. Orangtua dan keluarga penulis yang terus memberikan dukungan secara moril maupun materiil kepada penulis dalam selama masa studinya di Teknik Elektro Universitas Indonesia.
2. Bpk. Dr-Ing. Eko Adhi Setiawan, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing atas bimbingan yang telah diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Fajar Kawolu, dan Ihsan Jotaro selaku rekan satu penelitian yang telah banyak memberikan masukan dan mengajarkan penulis tentang hal-hal teknis yang akan dibutuhkan dalam penelitian.
4. Seluruh staff akademik Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia.
5. Teman-teman angkatan 2007 Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia yang telah membantu penulis dalam belajar bersama selama masa studi di department Teknik Elektro Universitas Indonesia.
6. Teman-teman satu organisasi: Rohis Elektro 2008, Ikatan Mahasiswa Elektro 2008, *Pan Intellectual of Moslem Engineers* 2009, *Institute of Electronics and Electrical Engineering Srtudent Branch University of Indonesia* 2010, Akademik Profesi 2011, PPSDMS Nurul Fikri, *Indonesian Leadership Development Program* 2010, Komunitas Mahasiswa Berprestasi dan Mandiri.

7. PT Total E&P yang telah memberikan bantuan finansial kepada penulis sampai penulis menyelesaikan masa studinya.
8. PT Nokia Siemens Networks yang telah memberikan bantuan finansial kepada penulis sampai penulis menyelesaikan masa studinya.
9. PT Accenture Indonesia yang telah memberikan bantuan finansial kepada penulis sampai penulis menyelesaikan masa studinya.
10. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan laporan seminar ini.

Penulis juga menyadari bahwa dalam penulisan laporan ini masih banyak terdapat kekurangan dan kesalahan, dan untuk itu penulis mengucapkan mohon maaf yang sebesar-besarnya serta mengharapkan kritik dan saran yang dapat melengkapi kekurangan tersebut agar laporan ini bisa menjadi lebih baik lagi dan dapat bermanfaat bagi masyarakat.

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 : Arriyadhul Qolbi

NPM : 0706267540

Program Studi : Teknik Elektro

Departemen : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive RoyaltyFree Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN LAPISAN ELEKTROPLATING
NIKEL DAN KROM PADA ANTENA PENERIMA (RX) SISTEM
TRANSFER DAYA LISTRIK NIRKABEL**

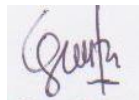
Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 30 Juni 2011

Yang Menyatakan



(Arriyadhul Qolbi)

ABSTRAK

Nama : Arriyadhul Qolbi

Program Studi: Teknik Elektro

Judul : Analisis Pengaruh Penambahan Lapisan Elektroplating Nikel Dan Krom Pada Antena Penerima (Rx) Sistem Transfer Daya Listrik Nirkabel

Transfer daya listrik tanpa kabel dengan menggunakan prinsip kopling magnetik yang biasa dikenal dengan istilah WPT (*Wireless Power Transfer*) adalah metode transfer daya listrik yang paling efisien dibandingkan dengan metode lainnya dan memungkinkan terjadinya transfer daya listrik tanpa kabel walaupun terdapat benda-benda penghalang antara pemancar dan penerima. Saat ini, Dr-Ing. Eko Adhi Setiawan dan timnya di Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia, telah mengembangkan sebuah sistem WPT yang memiliki efisiensi sekitar 40% pada jarak transfer 5 cm. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi transfer pada sistem WPT yang telah dikembangkan ini, diantaranya adalah dengan meningkatkan medan magnetik yang diserap oleh antena penerima agar tegangan induksi di antena penerima juga meningkat sehingga meningkatkan daya yang diserapnya. Cara yang dapat ditempuh untuk meningkatkan medan magnetik yang diserap oleh antena penerima ialah dengan memasang lapisan *shield* magnetik pada antena penerima. Untuk itulah, penulis melakukan penelitian berupa penambahan lapisan elektroplating nikel dan krom yang merupakan lapisan *shield* magnetik untuk mengamati apakah terjadi peningkatan efisiensi transfer daya atau tidak.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa adanya penambahan lapisan elektroplating di antena penerima malah menurunkan efisiensi transfer daya pada sistem ini sekitar 10% (dari 44.17% ke 33.38% setelah penambahan lapisan elektroplating nikel pertama). Setelah lapisan elektroplating nikel dipertebal, efisiensi relatif tidak berubah signifikan, hanya meningkat menjadi 34,46% dan 35,01% setelah lapisan nikel ditebalkan dua kali.

Kata Kunci: Transfer Daya tanpa Listrik Tanpa Kabel, Efisiensi, Lapisan Elektroplating, *Shield* Magnetik.

ABSTRACT

Name : Arriyadhul Qolbi

Study Program: Teknik Elektro

Title : Analysis of Effect of Nickel and Chrome Electroplating Layer Addition on Wireless Power Transfer Receiver Coil (Rx).

Wireless power transfer using Magnetic Coupling Resonance, known as WPT (Wireless Power transfer), is the most efficient method used in wireless power transfer compared to other methods. Although the environment between transmitter and receiver is non line of sight, wireless transfer power is still feasible using this method. Recently, Dr-Ing. Eko Adhi Setiawan and his team in Electrical Engineering Department University of Indonesia has developed a WPT system which efficiency is 40% on a range of 5 cm. There are several ways to improve the efficiency of this system. One of which is by improving the absorbed magnetic field on the receiver coil in order to gain the induction voltage produced in the coil so that the power absorbed would also be improved. One of the ways to improve the absorbed magnetic field is by putting magnetic shield on the receiver coil. Because of that, the writer did an experiment adding nickel and chrome electroplating layer as magnetic shield to observe whether the efficiency also going to be improved or not.

Setelah lapisan elektroplating nikel dipertebal, efisiensi relatif tidak berubah signifikan, hanya meningkat menjadi 34,46% dan 35,01% setelah lapisan nikel ditebalkan dua kali.

The result shows that adding electroplating layer on the receiver coil causes declining of the efficiency about 10% (from 44.17% to 33.38% after first electroplating layer addition). After the nikel layer was thickened, the efficiency was not changed significantly; it increases to 34.46% and 35.01% after the nickel layer was thickened twice.

Keywords: Wireless Power Transfer, Efficiency, Elektroplating Layer, Magnetic Shield.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN SAMPUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vii
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Luaran yang Diharapkan	6
1.5 Sistematika Penulisan.....	6
2. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Konsep Umum Transfer Daya Listrik Tanpa Kabel Menggunakan Prinsip Resonansi Magnetik (WPT).....	7
2.2 Pengaruh Benda di Sekitar Pemancar	8
2.3 Gaya Gerak Listrik Induksi (GGL Induksi)	9
2.4 Oscillator Royer	9
2.5 Elektroplating	10
2.5.1 Elektroplating Nikel.....	10
2.5.2 Elektroplating Krom	12
2.6 Resistansi.....	13
2.6.1 Resistivitas dan Koefisien Temperatur Resistansi.....	13

2.6.2	Resistansi pada Frekuensi Radio	15
2.7	<i>Shield</i> Magnetik.....	17
2.8	<i>Conducting Shield</i> untuk Medan magnet	18
2.9	Angka Penting Pada Perhitungan	19
2.10	Perhitungan Bilangan Kompleks	19
3.	METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1	Pembuatan Rangkaian Pemancar dan Penerima WPT menggunakan Oscillator Royer	23
3.2	Pengukuran Parameter Dasar Antena Penerima Berbahan Dasar Tembaga tanpa Lapisan Elektroplating.....	24
3.2.1	Pengukuran Resistansi	24
3.2.2	Pengukuran Induktansi.....	25
3.2.3	Pengukuran Kapasitansi.....	26
3.2.4	Pengukuran Ketebalan Diameter Penampang Antena Penerima Berbahan Dasar Tembaga tanpa Lapisan Elektroplating.....	27
3.3	Pengukuran Efisiensi Transfer Daya di Antena pada Jarak <i>Fix</i>	29
3.3.1	Pengukuran Tegangan <i>Root Mean Square</i> (V_{rms}) pada Antena Penerima dan Pemancar.....	29
3.3.2	Penentuan Nilai Impedansi (Z) pada Rangkaian Antena Penerima dan Antena Pemancar.	31
3.4	Pengukuran Parameter Dasar Antena Penerima Setelah Dilapisi Lapisan Elektroplating.	33
3.4.1	Pengukuran Resistansi	33
3.4.2	Pengukuran Induktansi.....	33
3.4.3	Pengukuran Kapasitansi.....	34
3.4.4	Pengukuran Ketebalan Lapisan Elektroplating.....	34
3.5	Pelapisan Antena Penerima Tembaga dengan Lapisan Elektroplating ...	35
4.	HASIL PERCOBAAN DAN ANALISIS	36
4.1	Hasil Percobaan Pada Pelapisan Antena Tembaga dengan Lapisan Elektroplating Nikel	36
4.2	Analisis Hasil Percobaan Pada Pelapisan Antena Tembaga dengan Lapisan Elektroplating Nikel	42

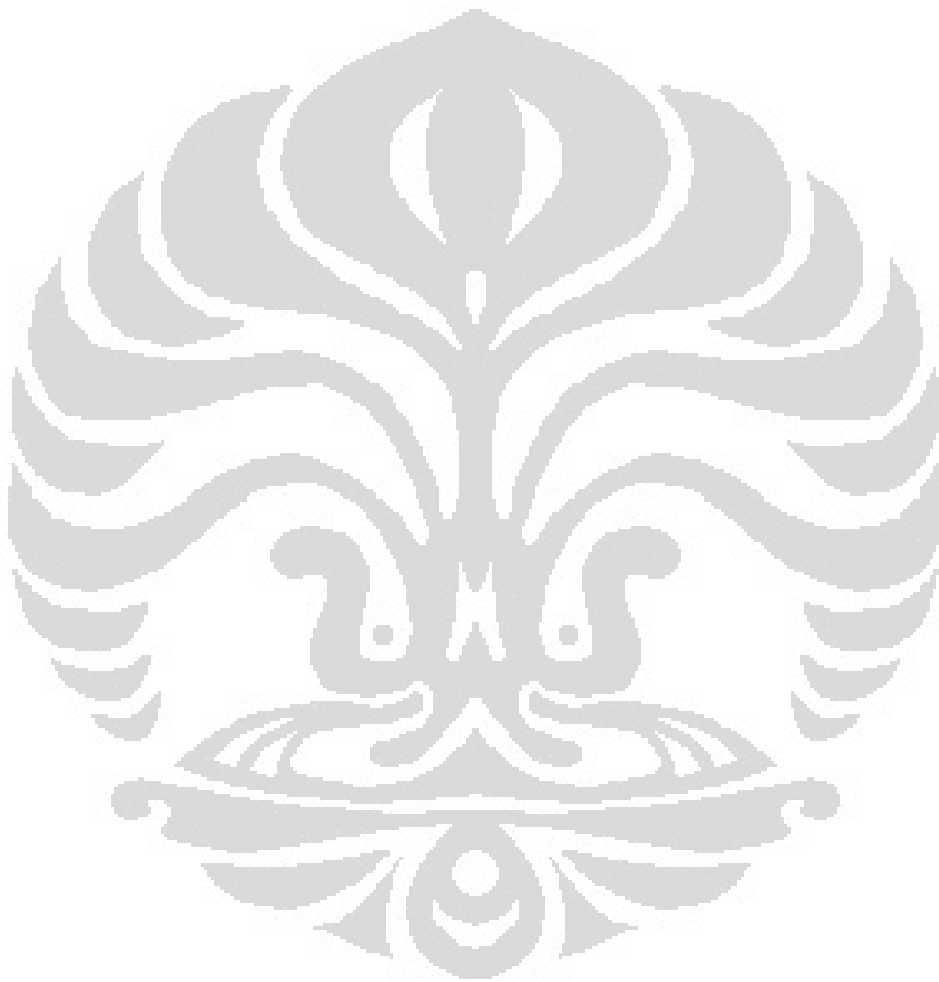
4.2.1	Analisis Perbandingan Sebelum Dan Setelah Antena Penerima Diberi Lapisan Elektroplating.....	42
	Ullerich, dalam jurnalnya tentang <i>Telemetry</i> yang menggunakan prinsip transfer daya listrik nirkabel, mengatakan bahwa pada rangkaian ekivalen seperti di bawah ini,.....	44
	besarnya Vac pada bagian penerima dapat dirumuskan sebagai,.....	45
	dimana,.....	45
4.2.2	Analisis Saat Efisiensi Relatif Naik (Perbandingan Saat Tebal Lapisan Elektroplating yang Diberikan ke Antena Penerima Divariasikan) ..	47
4.3	Hasil Percobaan Pada Pelapisan Antena Tembaga dengan Lapisan Elektroplating Krom.....	49
4.4	Analisis Hasil Percobaan Pada Pelapisan Antena Tembaga dengan Lapisan Elektroplating Krom	52
5.	KESIMPULAN	54
	DAFTAR PUSTAKA	55
	LAMPIRAN 1. DATA PERHITUNGAN IMPEDANSI DI ANTENA PEMANCAR.....	xvii
	(PERCOBAAN LAPISAN ELEKTROPLATING NIKEL)	xvii
	LAMPIRAN 2. DATA PERHITUNGAN IMPEDANSI DI ANTENA PENERIMA	xxi
	(PERCOBAAN LAPISAN ELEKTROPLATING NIKEL)	xxi
	LAMPIRAN 3. DATA PERHITUNGAN IMPEDANSI DI ANTENA PEMANCAR.....	xxv
	(PERCOBAAN LAPISAN ELEKTROPLATING KROM)	xxv
	LAMPIRAN 4. DATA PERHITUNGAN IMPEDANSI DI ANTENA PENERIMA	xxviii
	(PERCOBAAN LAPISAN ELEKTROPLATING KROM).....	xxviii

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Ilustrasi WPT dan aplikasinya di masa depan.....	3
Gambar 1.2 Tubing Tembaga yang Digunakan Sebagai Antena.....	4
Gambar 1.3 Potongan Melintang Tubing Tembaga yang Memiliki Ketebalan Tertentu	4
Gambar 2.1 Rangkaian Umum Pemancar dan Penerima Pada WPT.....	7
Gambar 2.2 Rangkaian Osilator Royer	10
Gambar 2.3 Proses Elektroplating Nikel.....	11
Gambar 2.4 Proses Elektroplating Krom	12
Gambar 2.5 Rasio Resistansi AC Skin Effect Dengan Resistansi DCnya terhadap Parameter $\sqrt{(f/R_{dc})}$ dimana f Dalam Hertz dan Rdc Dalam Per Ribu Kaki	16
Gambar 2.6 Bidang Polar Bilangan Kompleks	20
Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	22
Gambar 3.2 Rangkaian Ekuivalen Pemancar Menggunakan Oscillator Royer	23
Gambar 3.3 Rangkaian Ekuivalen Penerima	24
Gambar 3.4 Pemasangan Kaki Antena Pada RLC Meter	25
Gambar 3.5 Pengukuran Resistansi Antena Penerima Tembaga Tanpa Lapisan dengan Menggunakan RLC Meter.....	25
Gambar 3.6 Pengukuran Induktansi Antena Penerima Tembaga Tanpa Lapisan dengan Menggunakan RLC Meter.....	26
Gambar 3.7 Pengukuran Kapasitansi Antena Penerima Tembaga Tanpa Lapisan dengan Menggunakan RLC Meter.....	27
Gambar 3.8 Penandaan Titik-Titik Tertentu Pada Antena yang Akan Diukur Ketebalannya.....	28
Gambar 3.9 Pengukuran Ketebalan Diameter Penampang Antena Tembaga	28
Gambar 3.10 Pengukuran Vrms dengan Menggunakan <i>Oscilloscope</i> Digital dan <i>Oscilloscope</i> PC	30
Gambar 3.11 Rangkaian Ekuivalen Pengukuran Vrms	30
Gambar 3.12 Antena Penerima dan Pemancar dimasukkan ke Sterofoam Pembatas Jarak, kemudian Diukur Agar Setiap Jarak Antena Pemancar-Penerima Berjarak 5 cm.....	31
Gambar 3.14 Rangkaian Ganti Z Pemancar	32

Gambar 3.13 Rangkaian Ganti Z Penerima	32
Gambar 3.15 Pengukuran Resistansi Antena Penerima Tembaga setelah Pelapisan dengan Menggunakan RLC Meter	33
Gambar 3.16 Pengukuran Induktansi Antena Penerima Tembaga setelah Pelapisan dengan Menggunakan RLC Meter	34
Gambar 3.17 Pengukuran Kapasitansi Antena Penerima Tembaga setelah Pelapisan dengan Menggunakan RLC Meter.....	34
Gambar 3.18 Pengukuran Ketebalan Diameter Penampang Antena Setelah Pelapisan	35
Gambar 4.1 Grafik Kondisi Antena Penerima terhadap Tebal Lapisan Elektroplating Nikel.....	40
Gambar 4.2 Kondisi Antena Penerima terhadap Efisiensi Transfer Daya Pada Percobaan Penambahan Lapisan Elektroplating Nikel	40
Gambar 4.3 Grafik Tebal Lapisan Elektroplating terhadap Efisiensi.....	41
Gambar 4.4 Grafik Kondisi Antena Penerima terhadap Resistansi DC Antena Penerima pada Percobaan Penambahan Lapisan Elektroplating Nikel	42
Gambar 4.5 Resistansi DC Antena Penerima terhadap Efisiensi pada Percobaan Penambahan Lapisan Elektroplating Nikel.....	43
Gambar 4.6 Kondisi Antena Penerima terhadap Rac Skin Effect pada Percobaan Penambahan Lapisan Elektroplating Nikel.....	44
4.7 Gambar Rangkaian Transfer Daya Listrik Nirkabel yang Dirumuskan Ullerich	44
4.8 Gambar Rangkaian Ekuivalen yang Dipakai pada Percobaan yang Persis Sama Dengan Rangkaian Ekuivalen Ullerich.....	45
Gambar 4.9 Grafik Kondisi Antena Penerima setelah Pelapisan terhadap Efisiensi pada Percobaan Penambahan Lapisan Elektroplating Nikel.....	47
Gambar 4.11 Kondisi Antena Penerima vs Perbandingan Tegangan di Antena Penerima dan Pemancar pada Percobaan Penambahan Lapisan Elektroplating Nikel.....	48
Gambar 4.10 Penjelasan Singkat Kenaikan Efisiensi yang Disebabkan Oleh Penebalan Lapisan Elektroplating.....	48

Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Tebal Lapisan Elektroplating Nikel dan Krom di Antena Penerima.....	52
Gambar 4.13 Grafik Kondisi Antena Penerima terhadap Efisiensi pada Percobaan Penambahan Lapisan Elektroplating Krom	53
Gambar 4.14 Grafik Kondisi vs Resistansi Antena Penerima pada Percobaan Penambahan Lapisan Elektroplating Krom	53



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Resistivitas, Permeabilitas Relatif, dan <i>Skin Depth</i> dari Beberapa Material	14
Tabel 4.1 Data Hasil Percobaan Pengukuran Tebal Diameter Penampang, Parameter listrik (R,L,C), V rms, Frekuensi dan Efisiensi saat Antena Penerima Belum Diberi Lapisan Elektroplating	36
Tabel 4.2 Data Hasil Percobaan Pengukuran Tebal Lapisan, Parameter listrik (R,L,C), V rms, Frekuensi dan Efisiensi saat Antena Penerima diberi Lapisan Elektroplating Nikel untuk Pertama Kali.....	37
Tabel 4.3 Data Hasil Percobaan Pengukuran Tebal Lapisan, Parameter listrik (R,L,C), V rms, Frekuensi dan Efisiensi saat Antena Penerima diberi Lapisan Tambahan Elektroplating Nikel Untuk yang Kedua.....	38
Tabel 4.4 Data Hasil Percobaan Pengukuran Tebal Lapisan, Parameter listrik (R,L,C), V rms, Frekuensi dan Efisiensi saat Antena Penerima diberi Lapisan Tambahan Elektroplating Nikel Untuk yang Ketiga.....	39
Tabel 4.5 Data Hasil Percobaan Pengukuran Tebal Diameter Penampang, Parameter listrik (R,L,C), V rms, Frekuensi dan Efisiensi saat Antena Penerima Belum Diberi Lapisan Elektroplating	49
Tabel 4.6 Data Hasil Percobaan Pengukuran Tebal Lapisan, Parameter listrik (R,L,C), V rms, Frekuensi dan Efisiensi saat Antena Penerima diberi Lapisan Elektroplating Krom untuk Pertama Kali	50
Tabel 4.7 Data Hasil Percobaan Pengukuran Tebal Lapisan, Parameter listrik (R,L,C), V rms, Frekuensi dan Efisiensi saat Antena Penerima diberi Lapisan Elektroplating Krom untuk Kedua Kali	51

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bayangkan jika kita dapat mentransfer daya listrik tanpa menggunakan kabel! Kita tidak perlu mencolokkan charger telepon genggam, mp3 player, ataupun laptop yang kita miliki ke sumber listrik agar baterai gadget-gadget tersebut bisa terisi kembali. Bahkan kita tidak lagi memerlukan baterai, karena kapanpun dan dimanapun, daya listrik yang dibutuhkan dapat langsung ditransmisikan ke gadget-gadget bergerak yang kita miliki tanpa membutuhkan kabel.

Adalah seorang professor dari Massachusetts Institute of Technology (MIT), Prof. Marin Soljacic, yang memiliki gagasan untuk mentransmisikan daya listrik tanpa kabel. Ide ini ia dapatkan karena merasa kesal dengan bunyi penanda baterai lemah dari telepon genggamnya yang seringkali membangunkan ia dari tidurnya. Ia berpikir bagaimana caranya agar ia tidak perlu mencolokkan telepon genggamnya ke sumber listrik untuk *recharge* kembali telepon genggam yang ia miliki. Pada tahun 2007, ia dan timnya berhasil menemukan sebuah penemuan yang mencengangkan yaitu transfer daya listrik tanpa kabel dengan menggunakan prinsip resonansi kopling magnetik (*magnetically coupled resonance*) yang biasa dikenal dengan *Wireless Power Transfer* (WPT). (Hadley, 2007).

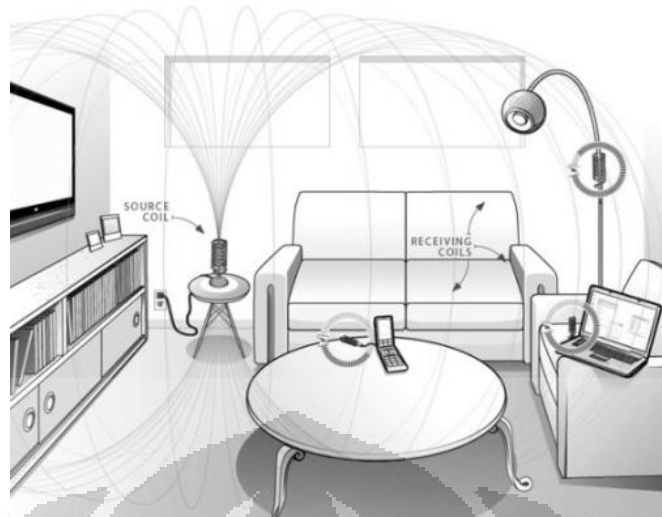
Sebenarnya, manusia sudah mengenal beberapa metode untuk mentransmisikan daya listrik tanpa kabel, misalnya dengan menggunakan prinsip radiasi elektromagnet seperti gelombang radio. Gelombang radio dikenal efektif dalam mentransmisikan informasi (berupa suara) tetapi akan sangat buruk jika digunakan untuk mentransmisikan daya listrik. Hal ini karena radiasi yang dihasilkan oleh gelombang radio menyebar ke segala arah sehingga akan banyak daya yang terbuang percuma ke udara daripada daya yang sampai ke penerima. (Sample, Meyer, & Smith, 2010)

Berbeda dengan gelombang radio, laser dapat lebih efisien digunakan untuk mentransmisikan daya listrik ke penerima karena gelombang yang dihasilkan hanya tertuju ke satu arah. Namun demikian, dalam implementasinya, transmisi daya listrik dengan menggunakan laser mengharuskan tidak adanya

penghalang apapun antara pemancar dan penerima (Karalis, Joannopoulos, & Soljagic, 2008). Hal tersebut juga berarti penggunaan laser membutuhkan sebuah sistem *tracking* penerima yang canggih jika ingin digunakan untuk mentransmisikan daya listrik kepada divais-divais penerima bergerak seperti telepon genggam maupun mp3 *player*.

Sistem transfer daya listrik nirkabel menggunakan prinsip kopling magnetik (WPT) menjawab permasalahan-permasalahan yang timbul dalam metode transfer daya listrik yang telah digunakan sebelumnya. Dalam sistem transfer daya listrik nirkabel ini, memang medan magnet resonan dipancarkan ke segala arah oleh pemancar, tetapi efisiensi daya listrik yang dihasilkan akan tetap tinggi karena daya listrik yang tidak diterima oleh penerima akan tetap tinggal di pemancar, tidak terbang ke udara seperti transfer daya listrik dengan menggunakan gelombang radio. Selain itu, sistem ini juga memungkinkan terjadinya transfer daya listrik meskipun terdapat penghalang antara pemancar dan penerima, sehingga lebih mungkin diterapkan untuk aplikasi *charging gadget* pada zaman modern ini, di mana akan banyak sekali peralatan dan benda di rumah yang akan menghalangi pemancar dan penerima. Ditambah lagi, sistem *tracking* penerima juga tidak dibutuhkan karena sifat yang dimiliki dalam sistem ini, yaitu pemancaran medan magnet resonan menyebar ke segala arah (Hadley, 2007).

Selain itu, medan magnet yang dihasilkan oleh WPT untuk mentransmisikan beberapa Watt daya listrik juga sangat kecil (sekitar 10^{-4} T) jika dibandingkan dengan medan magnet yang dihasilkan oleh *Magnetic Resonance Imaging* (MRI), yaitu sekitar 1 T. Padahal MRI digunakan dunia kedokteran dan dianggap aman penggunaannya, sehingga WPT juga sangat aman untuk digunakan oleh manusia. (Karalis, Joannopoulos, & Soljagic, 2008)



Gambar 1.1 Ilustrasi WPT dan aplikasinya di masa depan
 Sumber: (University of Cambridge -Programme for Sustainability Leadership-, 2010)

Saat ini WPT telah dikembangkan di Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia di bawah riset yang dipimpin oleh Dr-Ing. Eko Adhi Setiawan. Tim riset ini telah berhasil mengembangkan WPT yang dapat *mencharging handphone* dan menyalakan lampu dengan kapasitas 13 W. Meskipun demikian, masih banyak perbaikan yang harus dilakukan dalam WPT yang telah dikembangkan dengan rangkaian dasar *oscillator royer* ini agar dapat lebih digunakan pada gadget-gadget bergerak maupun peralatan elektronik lainnya dan dikembangkan secara industri. Diantara perbaikan yang harus dilakukan adalah perbaikan dalam hal efisiensi transfer. Saat ini, efisiensi maksimum yang berhasil dicapai oleh alat kami adalah sebesar 42% dalam jarak transfer 5 cm.

Terdapat beberapa hal yang dapat dilakukan untuk memperbaiki efisiensi transfer pada WPT, diantaranya adalah dengan mendesain antena (kumparan) di rangkaian pemancar dan rangkaian penerima. Pada prinsipnya, antena pada rangkaian pemancar harus mampu menghantarkan listrik sebaik mungkin karena arus listrik yang mengalir pada antena pemancar akan diubah menjadi fluks magnetik yang akan menginduksi tegangan pada antena penerima. Hal ini berarti, semakin baik antena pemancar mengalirkan listrik, maka akan semakin besar arus yang mengalir pada antena pemancar, dan semakin kuat pula fluks magnetik yang dihasilkan untuk menginduksi tegangan pada antena penerima. Sedangkan antena penerima harus memiliki sifat mampu menangkap fluks magnetik sebaik mungkin

agar tegangan induksi yang dihasilkan dapat semakin besar. Material yang mampu menangkap fluks magnetik dengan baik ini disebut *magnetic shield*, dimana material-material dengan sifat ini memiliki permeabilitas magnetik yang besar. Material-material tersebut diantaranya adalah besi, nikel dan krom. (Magnetic Properties of Materials)

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan bahwa diperlukan antenna penerima yang dapat menangkap fluks magnetik dengan baik untuk memperbaiki efisiensi transfer. Salah satu cara yang mungkin dilakukan adalah dengan menggunakan bahan-bahan *magnetic shield* pada kumparan antenna penerimanya. Untuk membuktikan hipotesis ini, maka penulis melakukan penelitian dengan membandingkan efisiensi transfer pada saat material di antenna penerima menggunakan bahan dasar tembaga dengan antenna penerima berbahan dasar tembaga-yang dilapisi oleh nikel dan krom.

Teknik pelapisan elektroplating material dipilih (bukan dengan mengganti material antenna penerima secara langsung), agar parameter lain seperti diameter penampang dan ketebalan *tubing* di antenna penerima tidak berubah sehingga hasil perbandingan dapat benar-benar menggambarkan perbandingan efisiensi transfer yang akurat. Sebenarnya, jika kita menemukan material *magnetic shield* dengan diameter penampang dan ketebalan tubing yang sama kita dapat melakukan perbandingan efisiensi transfer daya secara langsung dengan mengganti antenna penerima secara langsung. Namun, pada kenyataannya sangat sulit menemukan *tubing* yang memiliki diameter penampang dan ketebalan tubing yang sama di pasaran.



Gambar 1.2 Tubing Tembaga yang Digunakan Sebagai Antena



Gambar 1.3 Potongan Melintang Tubing Tembaga yang Memiliki Ketebalan Tertentu

Selain itu, teknik pelapisan antenna penerima berbahan tembaga dengan nikel dan krom ini dilakukan berulang dengan menebalkan lapisan elektroplating secara bertahap. Kemudian, efisiensi transfer daya diukur pada setiap tahap pelapisan, agar didapat grafik yang menggambarkan hubungan antara parameter-parameter dasar antenna (resistansi, induktansi, kapasitansi, dan ketebalan pada antenna) dengan efisiensi transfer dayanya.

1.3 Batasan Masalah

Masalah yang dibahas pada skripsi ini adalah hubungan antara penambahan lapisan elektroplating nikel dan krom di antenna penerima sistem transfer daya listrik nirkabel yang menggunakan *oscillator royer* terhadap kenaikan atau penurunan efisiensi transfer dengan melihat perubahan pada parameter-parameter dasar antenna penerima, yaitu resistansi, induktansi, kapasitansi serta ketebalan lapisan elektroplatingnya. Pengujian dilakukan dengan hanya mengubah-ubah ketebalan lapisan elektroplating antenna penerima tanpa mengubah parameter-parameter lainnya seperti: antenna pemancar, jarak antenna pemancar-penerima, rangkaian pemancar, maupun rangkaian penerima.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan umum dilaksanakannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui hubungan antara pengaruh penambahan lapisan elektroplating berbahan magnetik pada antenna penerima WPT dengan perubahan efisiensi transfer daya.
2. Mengetahui hubungan antara penambahan ketebalan lapisan elektroplating pada antenna penerima WPT dengan parameter-parameter dasar listrik yaitu: resistansi, induktansi, dan kapasitansi pada antenna penerima tersebut.
3. Melakukan penelitian lanjutan tentang WPT yang telah dilakukan di Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia.
4. Melakukan pengembangan terhadap WPT yang telah dilakukan di berbagai negara agar dapat berfungsi lebih aplikatif untuk transfer daya

listrik tanpa kabel pada gadget-gadget bergerak maupun peralatan elektronik lainnya.

5. Berpartisipasi dalam mengembangkan sains dan teknologi dengan ilmu yang penulis miliki untuk kemajuan masyarakat.

1.4 Luaran yang Diharapkan

Luaran yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Skripsi dan jurnal ilmiah yang mampu menjelaskan secara teoretis dan matematis hubungan antara pengaruh penambahan lapisan elektroplating berbahan magnetik pada antena penerima WPT dengan perubahan efisiensi transfer daya.
2. Skripsi dan jurnal ilmiah yang mampu menjelaskan secara teoretis dan matematis hubungan antara penambahan ketebalan lapisan elektroplating pada antena penerima WPT dengan parameter-parameter dasar listrik yaitu: resistansi, induktansi, dan kapasitansi pada antena penerima tersebut

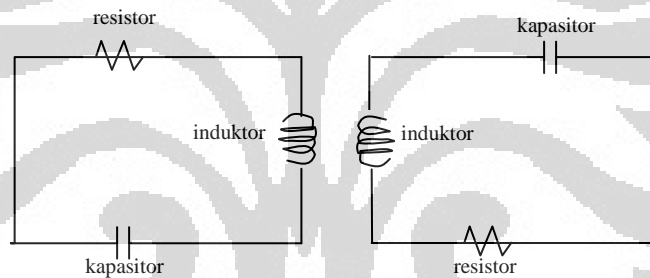
1.5 Sistematika Penulisan

Skripsi ini terdiri atas lima bab. Sistematika bab-bab tersebut adalah sebagai berikut. Bab 1 merupakan Pendahuluan yang berisi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah dan tujuan penelitian, luaran yang diharapkan serta sistematika penulisan. Bab 2 adalah Tinjauan Pustaka yang terkait dengan sistem transfer daya listrik nirkabel, elektroplating, resistansi, *shield* magnetik dan cara perhitungan bilangan kompleks. Bab 3 adalah Metodologi Penelitian membahas langkah-langkah yang dilakukan dalam pengukuran dan pengolahan data. Bab 4 yaitu Hasil Percobaan dan Analisis yang berisi data hasil percobaan serta analisis hasil percobaan. Dan Bab 5 Kesimpulan yang berisi kesimpulan dari semua pembahasan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Umum Transfer Daya Listrik Tanpa Kabel Menggunakan Prinsip Resonansi Magnetik (WPT)

WPT menggunakan prinsip resonansi frekuensi, yaitu apabila terdapat satu objek yang bergetar pada frekuensi tertentu, kemudian ada objek lain yang juga memiliki frekuensi yang sama, maka objek lain tersebut akan ikut bergetar karena adanya kopling akibat dari resonansi. Apabila diterapkan dengan WPT, maka prinsip resonansi frekuensi ini dapat menjelaskan bahwa ketika ada suatu kawat (pemancar) menghasilkan medan magnet dalam frekuensi tertentu (karena adanya arus listrik yang mengalir pada kawat tersebut, dan ada kawat lain (penerima) yang menghasilkan medan magnet dalam frekuensi yang sama, maka akan terjadi transfer energi dari kawat pemancar ke kawat penerima karena adanya kopling.



Gambar 2.1 Rangkaian Umum Pemancar dan Penerima Pada WPT
Sumber: (Sample, Meyer & Smith, 2010)

Pemancar WPT terdiri dari resistor (R), induktor (L), dan kapasitor (C). Rangkaian ini disebut juga sebagai rangkaian RLC. Rangkaian ini akan menghasilkan medan magnet dengan frekuensi resonan (ω), yang memenuhi persamaan $\omega = 1/\sqrt{LC}$ (Sample, Meyer, & Smith, 2010). Sehingga, tinggi rendahnya frekuensi resonan dapat diatur dengan mengubah besarnya kapasitansi kapasitor.

Karalis dan teman-temannya, 2010, mengatakan bahwa transfer energi listrik tanpa kabel dengan menggunakan rangkaian ini akan memenuhi persamaan,

$$\frac{da_1}{dt} = -i(\omega_1 - i\Gamma_1)a_1 + ika_2 \quad (2.1)$$

$$\frac{da_2}{dt} = -i(\omega_2 - i\Gamma_2)a_2 + ika_1 \quad (2.2)$$

dimana,

α = amplitudo medan magnet (T)

ω = frekuensi eigen (rad/s)

Γ = rasio rugi-rugi intrinsik: absorpsi, radiasi, dll. (tanpa satuan)

1 dan 2 = indeks rangkaian: 1 untuk rangkaian 1 dan 2 untuk rangkaian 2. (tanpa satuan)

κ = rasio kopling.

Karalis juga menjelaskan bahwa dalam WPT rasio $\kappa/\sqrt{(\Gamma_1\Gamma_2)}$ yang digunakan sebagai parameter besar kecilnya daya yang ditransfer, sehingga apabila $\kappa/\sqrt{(\Gamma_1\Gamma_2)}$ bernilai besar, efisiensi sistem akan semakin tinggi.

2.2 Pengaruh Benda di Sekitar Pemancar

Karalis, 2010 mengatakan bahwa WPT adalah metode transfer daya listrik tanpa kabel yang efisien karena daya listrik yang dipancarkan hanya akan diserap oleh objek yang menghasilkan medan magnet dengan frekuensi yang sama yang dihasilkan oleh pemancar sehingga daya yang terbuang akan sangat kecil. Benda-benda yang tidak memiliki properti magnet yang signifikan (permeabilitas magnetik $\text{Re } \mu > 1$, atau rugi-rugi magnetik $\text{Im } \mu > 0$) tidak akan berpengaruh terhadap efisiensi transfer WPT. Oleh karena dalam kehidupan sehari-hari kebanyakan benda tidak memiliki properti magnet yang signifikan (bukan magnet), maka WPT memiliki efisiensi yang tinggi. Adapun, benda yang memiliki properti magnet yang signifikan akan berpengaruh sangat sedikit terhadap frekuensi resonansi dari WPT dengan mengikuti persamaan,

$$\frac{da_1}{dt} = -i(\omega_1 - i\Gamma_1)a_1 + i(\kappa_{11-e} + i\Gamma_{1-e})a_1 \quad (2.3)$$

dimana,

α = amplitudo medan magnet objek lain e (T)

ω = frekuensi resonan pemancar (rad/s)

Γ_1 = rasio rugi-rugi intrinsik: absorpsi, radiasi, dll (tanpa satuan)

Γ_{1-e} = rasio rugi-rugi intrinsik yang disebabkan oleh e dikuadratkan (tanpa satuan)

κ_{11-e} = rasio pergeseran frekuensi pemancar akibat adanya e. (tanpa satuan)

WPT memanfaatkan resonansi frekuensi medan magnet sehingga arah pancar energi pada WPT tidak hanya terfokus ke satu arah seperti pada laser, melainkan tersebar ke daerah sekitar pemancar (omnidirectional).

2.3 Gaya Gerak Listrik Induksi (GGL Induksi)

Hukum Faraday tentang induksi menyatakan bahwa: "Gaya gerak listrik induksi pada sebuah rangkaian tertutup sama dengan kecepatan perubahan fluks magnetik yang melalui rangkaian tersebut. (Sadiku, 2001) dirumuskan sebagai,

$$E = - d\phi/dt \quad (2.4)$$

dimana,

E = gaya gerak listrik induksi (Volt)

ϕ = Fluks magnetik (Wb)

t = waktu (s)

sedangkan fluks magnetik didefinisikan sebagai hasil kali titik (*dot product*) antara kepadatan medan magnet dengan luas area yang dilingkupi oleh medan magnet tersebut (Jewett, 2004) dan dirumuskan sebagai,

$$\phi = B \cdot A = B A \cos \theta \quad (2.5)$$

dimana,

ϕ = Fluks magnetik (Wb)

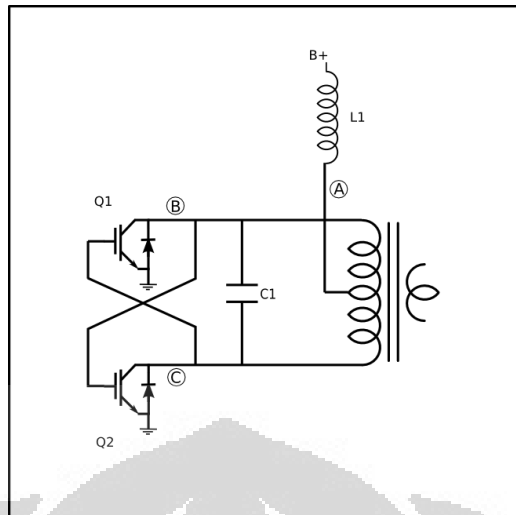
B = Kepadatan medan magnet (T)

A = Luas penampang (m^2)

θ = sudut antara fluks magnetik dan garis normal penampang ($^\circ$)

2.4 Oscillator Royer

Oscillator royer adalah sebuah osilator elektronik yang memiliki keunggulan pada kesederhanaannya, jumlah komponen yang digunakan relatif sedikit, menghasilkan gelombang sinusoidal.



Gambar 2.2 Rangkaian Osilator Royer
(Sumber: <http://www.neon-john.net>)

Rangkaian ini terdiri seperti sebuah transformator dengan tap primer terpusat, sebuah *choke* L1, dua buah semikonduktor yang diberi label Q1 dan Q2, sebuah kapasitor C1 dan rangkaian feedback cross coupled yang diilustrasikan dengan garis *cross*. Pada kenyataannya, ada komponen-komponen lain seperti diode, bias resistor, dan sebagainya. Namun gambar di atas cukup menggambarkan semua komponen dasar pada rangkaian Royer. (A 1kW Royer Induction Heater, 2010)

2.5 Elektroplating

2.5.1 Elektroplating Nikel

Elektroplating nikel adalah sebuah proses penambahan lapisan nikel pada sebuah objek logam secara elektrik. Akuan, 2010, menjelaskan bahwa sebelum elektroplating dilakukan, material yang akan diberi lapisan (wafer) elektroplating harus dibersihkan terlebih dahulu melalui beberapa tahap, yaitu:

1. Pembersihan Secara Mekanik

Pembersihan secara mekanik bertujuan untuk menghaluskan permukaan (dilakukan melalui proses buffing) dan menghilangkan goresan pada wafer (dilakukan dengan mesin gerinda).

2. Pembersihan dengan Pelarut/Solvent

Pembersihan dengan pelarut bertujuan untuk membersihkan lemak, minyak dan kotoran-kotoran lainnya dengan pelarut organik. Metode pembersihan yang dilakukan mencakup *vapour degreasing* yaitu wafer diuapkan dengan pelarut dalam keadaan panas.

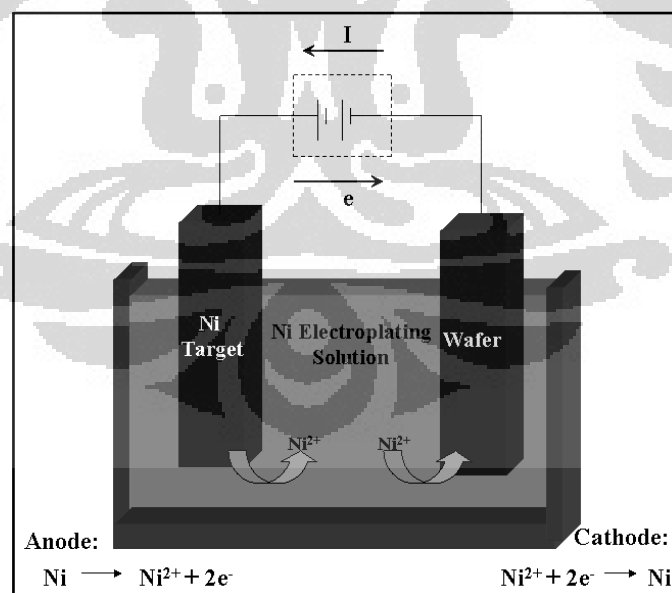
3. Pembersihan dengan Alkali (*degreasing*)

Pembersihan ini dilakukan dengan merendam wafer pada larutan alkalin panas dalam waktu 5-10 menit.

4. Pembersihan dengan Asam (*Pickling*)

Pembersihan ini dilakukan dengan cara merendam wafer pada larutan asam seperti Asam Klorida (HCl), asam sulfat (H₂SO₄), atau asam fluorida (HF)

Kemudian wafer yang sudah dibersihkan dipasang pada bagian katoda yang dicelupkan pada larutan elektrolit, sementara pada bagian anoda dipasang bahan campuran nikel yang dapat larut pada larutan elektrolit tersebut. Adapun larutan elektrolit yang dapat digunakan pada proses elektroplating nikel adalah Nikel Sulfat (NiSO₄.6H₂O), Nikel Klorida (NiCl₂.6H₂O), atau asam borat (B(OH)₃). (Nickel Electroplating, 2011)



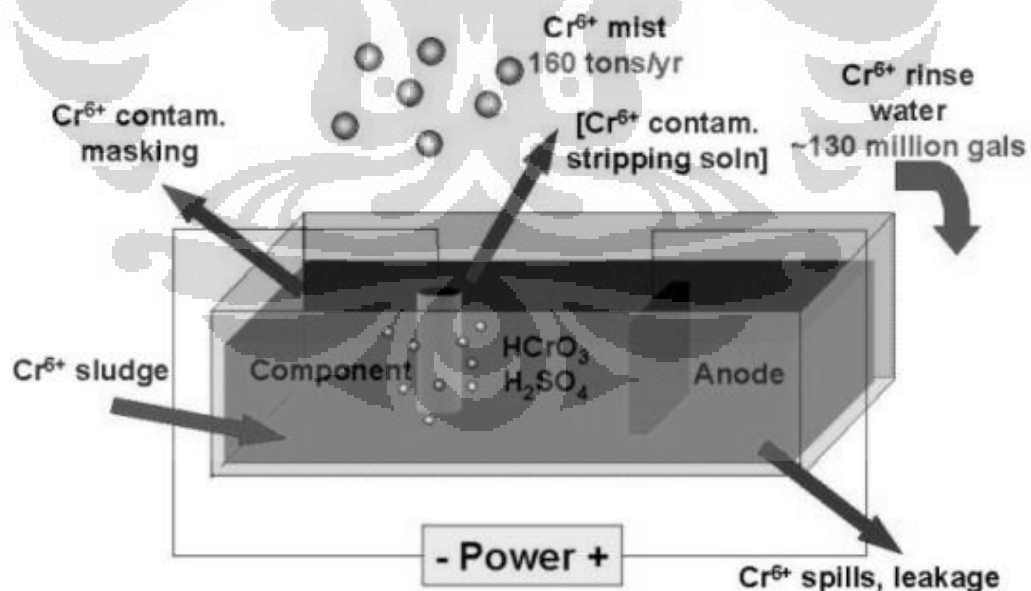
Gambar 2.3 Proses Elektroplating Nikel
Sumber: (Pai, 2001)

Adapun proses pelapisan berlangsung sebagai berikut: Ketika power suplai dinyalakan, Campuran Nikel pada anoda akan melepas ion Ni²⁺ yang akan ditarik

oleh bias negatif pada katoda. Sedangkan larutan elektrolit akan melepas ion negatif (misal yang dipakai adalah $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, maka ion negatif yang dilepaskan adalah SO_4^{2-}) akan tertarik pada bias positif dari anoda. Ion-ion Ni^{2+} akan berpasangan dengan electron pada katoda dan terdeposit pada permukaan katoda membentuk Ni. Gas-gas hidrogen akan dilepaskan pada katoda selama reaksi berlangsung. Hal ini tidak diinginkan karena akan membuat kualitas lapisan elektroplating menjadi buruk. Akumulasi dari gas hydrogen pada katoda dimimalisasi dengan cara mengaduk larutan elektroplating secara konstan dengan menggunakan pengaduk berbahan magnet. Pengadukan akan mengurangi pembentukan gas hidrogen yang terperangkap pada permukaan wafer. (Pai, 2001)

2.5.2 Elektroplating Krom

Elektroplating krom adalah proses penambahan lapisan krom pada sebuah logam. Sama halnya dengan elektroplating nikel, sebelum elektroplating dilakukan, material yang akan diberi lapisan (wafer) elektroplating harus dibersihkan terlebih dahulu melalui tahap-tahap yang telah dijelaskan pada bagian 2.5.1 nomor 1 hingga 4. Adapun larutan elektrolit yang digunakan pada proses elektroplating krom adalah asam kromida (H_2CrO_4). (Chrome Plating, 2011)



Gambar 2.4 Proses Elektroplating Krom
Sumber: (Chrome Plating Alternatives, 2009)

Proses pelapisan berlangsung sebagai berikut: Campuran krom pada anoda akan melepas ion Cr^{3+} yang akan ditarik oleh bias negatif pada katoda. Sedangkan

larutan elektrolit akan melepas ion negatif (misal yang dipakai adalah $\text{HCrO}_3 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$, maka ion negatif yang dilepaskan adalah SO_4^{2-}) akan tertarik pada bias positif dari anoda. Ion-ion Cr^{3+} akan berpasangan dengan elektron pada katoda dan terdeposit pada permukaan katoda membentuk Cr. (Chrome Plating, 2011)

2.6 Resistansi

2.6.1 Resistivitas dan Koefisien Temperatur Resistansi

Menurut Terman, 1943, Resistansi R (Ω) dari sebuah konduktor yang memiliki panjang l (m) dan luas penampang A (m^2) adalah

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2.6)$$

dimana ρ adalah resistivitas konduktor ($\Omega\text{-m}$).

Resistansi sebuah konduktor juga tergantung dari temperaturnya. Perubahan resistansi R (Ω) sebanding dengan perubahan temperatur T ($^\circ\text{K}$), dan dirumuskan sebagai

$$R_{T_2} = R_{T_1} [1 + \alpha(T_2 - T_1)] \quad (2.7)$$

dimana α adalah koefisien temperatur resistansi. (K^{-1})

Tabel 2.1 Resistivitas, Permeabilitas Relatif, dan *Skin Depth* dari Beberapa Material
 Sumber: (Conductor Bulk Resistivity & Skin Depths)

Material	Chemical Formula	Bulk Resistivity @20C $\mu\Omega \times \text{cm}$ ($\Omega \times 10^{-8} \text{m}$)	Relative Permeability μ/μ_0	Skin Depth ($\mu\text{m}@f$)					
				1 MHz	10 MHz	100 MHz	1 GHz	10 GHz	100 GHz
Aluminum	Al	2.65	1	81.9	25.9	8.19	2.59	0.819	0.259
Beryllium	Be	3.3	1	91.4	28.9	9.14	2.89	0.914	0.289
Brass	Cu70/Zn30	7	1	133	42.1	13.3	4.21	1.33	0.421
Bronze	Cu89/Sn11	15	1	195	61.6	19.5	6.16	1.95	0.616
Carbon	C (graphite)	1375		1866	590	187	59.0	18.7	5.90
Cadmium	Cd	7.3		136	43.0	13.6	4.30	1.36	0.430
Chromium	Cr	13.2	1	183	57.8	18.3	5.78	1.83	0.578
Cobalt	Co	6.34	600	5.8	1.6	0.52	0.16	0.052	0.016
Constantan	Cu60Ni40	49		352	111	35.2	11.1	3.52	1.11
Copper	Cu	1.69	1	65.4	20.7	6.54	2.07	0.654	0.207
Dural	A95/Cu 4/Mg 1	5		112.54	35.6	11.3	3.56	1.13	0.356
Gallium	Ga	15.5		198	62.7	19.8	6.27	1.98	0.627
Gold	Au	2.2	1	74.7	23.6	7.47	2.36	0.747	0.236
Graphite	C	783.7		1409	446	141	44.6	14.1	4.46
Inconel alloy 600	Ni72/Cr16/Fe 9	103	1	511	162	51.1	16.2	5.11	1.62
Indium	In	8.8		149	47.2	14.9	4.72	1.49	0.472
Iridium	Ir	5.1		114	35.9	11.4	3.59	1.14	0.359
Iron	Fe	10.1	500	7.2	2.3	0.72	0.23	0.072	0.023
Lead	Pb	20.6	1	228	72.2	22.8	7.22	2.28	0.722
Lithium	Li	9.29		153	48.5	15.3	4.85	1.53	0.485
Magnesium	Mg	4.2	1	103	32.6	10.3	3.26	1.03	0.326
Mercury	Hg	95.9	1	493	156	49.3	15.6	4.93	1.56
Molybdenum	Mo	5.7	1	120	38.0	12.0	3.80	1.20	0.380
Monel alloy 400	Ni65/Cu33/Fe 2	49		352	111	35.2	11.1	3.52	1.11
mu-Metal		47	30,000	2.0	0.64	0.20	0.064	0.020	0.0064
Nickel	Ni	6.9	200	9.3	3.0	0.93	0.30	0.093	0.030
Nichrome	Ni80/Cr20	108		523	165	52.3	16.5	5.23	1.65
Palladium	Pd	10.8	1	165	52.3	16.5	5.23	1.65	0.523
Platinum	Pt	10.58	1	164	51.8	16.4	5.18	1.64	0.518
Potassium	K	6.8		131	41.5	13.1	4.15	1.31	0.415
Rhodium	Rh	4.7	1	109	34.5	10.9	3.45	1.09	0.345
Silver	Ag	1.63	1	64.3	20.3	6.43	2.03	0.643	0.203
Sodium	Na	4.9		111	35.2	11.1	3.52	1.11	0.352
Steel			100						
Tantalum	Ta	13.5		185	58.5	18.5	5.85	1.85	0.585
Tantalum Nitride	TaN	252		799	253	79.9	25.3	7.99	2.53
Tin (pure)	Sn	12.6	1	179	56.5	17.9	5.65	1.79	0.565
Titanium	Ti	54	1	370	117	37.0	11.7	3.70	1.17
Tungsten	W	5.4	1	117	37.0	11.7	3.70	1.17	0.370
Uranium	U	27		262	82.7	26.2	8.27	2.62	0.827
Yttrium	Y	53		366	116	36.6	11.6	3.66	1.16
Zinc	Zn	5.96		123	38.9	12.3	3.89	1.23	0.389
Zirconium	Zr	44		334	106	33.4	10.6	3.34	1.06

2.6.2 Resistansi pada Frekuensi Radio

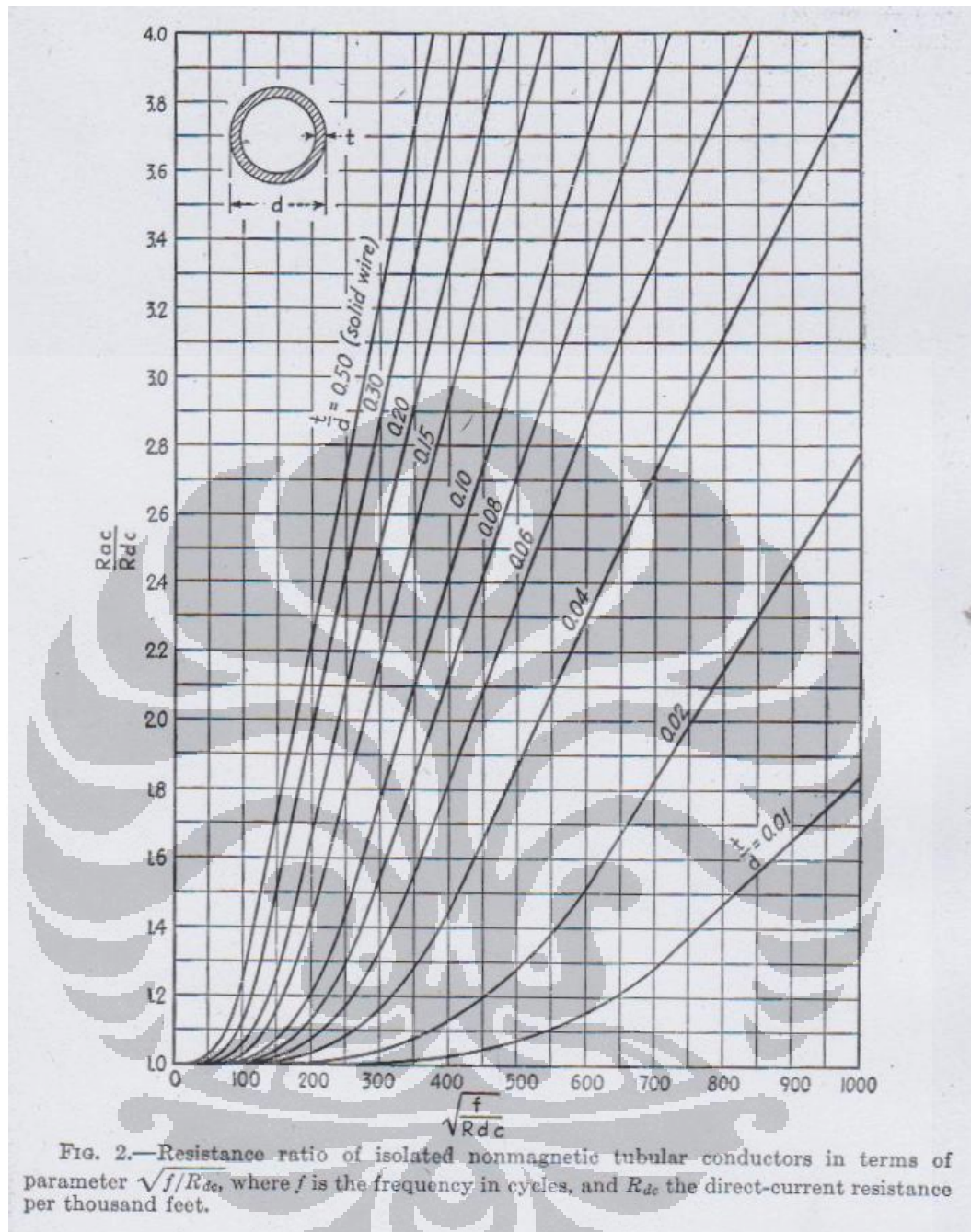
Pada rangkaian yang dialiri arus AC, daya yang hilang akan lebih tinggi dibandingkan dengan rangkaian yang dialiri arus DC yang memiliki nilai arus yang sama. Hal ini disebabkan oleh faktor-faktor seperti hysteresis dielektrik, arus Eddy, *skin effect*, dan sebagainya. (Terman, 1943)

2.6.2.1 *Skin Effect*

Pada frekuensi yang tinggi, arus yang mengalir melalui konduktor tidak terdistribusi merata pada konduktor melainkan terkonsentrasi pada permukaan. Kejadian ini, disebut sebagai *skin effect*, merupakan hasil dari garis-garis fluks magnet yang melingkari bagian dalam dari konduktor, tidak semua bagian dari konduktor. Bagian yang dilalui oleh garis-garis fluks magnet ini memiliki induktansi yang lebih tinggi daripada bagian lain di konduktor, dan memiliki reaktansi yang lebih tinggi pula. Karena reaktansi yang lebih tinggi, arus yang mengalir pada bagian dalam konduktor menjadi lebih kecil dibandingkan dengan arus yang mengalir melalui permukaan.

Skin effect menyebabkan sebuah konduktor memiliki resistansi AC ketika dialiri arus listrik AC. Besarnya resistansi AC ini biasanya ditunjukkan dengan nilai perbandingan antara resistansi AC (*skin effect*) dengan resistansi DCnya. Dari semua jenis konduktor, konduktor yang berbentuk *tubelah* yang memiliki resistansi AC *skin effect* yang paling kecil. Hal ini disebabkan oleh tidak adanya konduktor di bagian tengah, sehingga arus hanya mengalir melalui permukaan saja (tidak terjadi pembagian konsentrasi arus).

Rasio resistansi ketika konduktor dialiri arus AC dibandingkan dengan ketika konduktor dialiri dengan arus DC pada sebuah konduktor yang berbentuk *tube* ditunjukkan oleh grafik (2.1) dibawah ini,



Gambar 2.5 Rasio Resistansi AC Skin Effect Dengan Resistansi DCnya terhadap Parameter $\sqrt{(f/R_{dc})}$ dimana f Dalam Hertz dan R_{dc} Dalam Per Ribu Kaki

Sumber: (Terman, 1943)

2.6.2.2 Skin Depth

Pada frekuensi yang sangat tinggi, dimana perbandingan rasio resistansi AC terhadap DC sangat besar, hampir semua arus akan terkonsentrasi mengalir melalui permukaan konduktor. Pada kondisi ini, resistansi AC pada konduktor

pejal kurang lebih sama dengan resistansi DC sebuah konduktor berbentuk *tube* yang memiliki bentuk sama tetapi dengan ketebalan sebagai berikut (Terman, 1943),

$$\text{Skin depth (cm)} = \epsilon = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho \times 10^9}{\mu f}} = 5.033 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}} \quad (2.8)$$

dimana,

ρ = resistivitas ($\Omega/\text{cm cube}$)

f = frekuensi (Hz)

Ketebalan ini, disebut sebagai *skin depth*, adalah ukuran seberapa sulit arus dapat melakukan penetrasi karena nilai densitas arus yang jatuh menjadi sangat kecil pada jarak yang sama dengan *skin depth*.

Konsep *skin depth* dapat digunakan untuk menghitung besarnya resistansi frekuensi tinggi pada sebuah konduktor dimana ketebalan konduktor lebih besar daripada *skin depth* dan jari-jari permukaan konduktor di semua tempat lebih besar dari nilai *skin depth*-nya. Besarnya nilai resistansi ini dirumuskan sebagai,

$$\text{Resistansi Frekuensi Tinggi} \left(\frac{\Omega}{\text{cm}} \right) = \frac{261 \sqrt{f} \times 10^{-9}}{P} \quad (2.9)$$

dimana P adalah keliling permukaan (cm)

2.7 *Shield* Magnetik

Menurut Terman, 1943, tameng (*shield*) untuk medan magnet berfrekuensi rendah dan tidak searah terbuat dari bahan magnetik, yang memiliki permeabilitas magnetik yang tinggi. *Shield* tersebut berfungsi seperti jalur reluktansi yang kecil untuk fluks magnet, sehingga membuat fluks magnetik dari udara bergerak ke arahnya. Dalam kasus *shield* yang hanya terdiri dari satu lapisan, keefektifan *shield* dapat dihitung sebagai berikut:

$$\frac{\text{Medan magnet tanpa adanya shield}}{\text{Medan magnet dengan adanya shield}} = 0.22\mu \left[1 - \left(1 - \frac{t}{r_0} \right)^3 \right] \quad (2.10)$$

dimana,

μ = permeabilitas magnetik dari *shield* ($\text{H}\cdot\text{m}^{-1}$)

r_0 = radius bola yang melingkupi jumlah volume yang sama dengan permukaan yang dilingkupi *shield*(m)

t = ketebalan *shield* (m)

Resistansi pada kumparan yang diberikan shielding akan meningkat karena adanya peningkatan *Eddy current* dan rugi-rugi histeresis.

2.8 Conducting Shield untuk Medan magnet

Medan magnet dan medan listrik dapat dijaga untuk menempati area tertentu saja atau dapat dicegah dari memasuki area lain dengan menggunakan *shield* yang tepat. Alat yang paling tepat untuk mengontrol medan magnet pada frekuensi radio adalah dengan menggunakan *shield* yang berupa konduktor yang baik seperti tembaga atau aluminium. Fluks magnetik akan sangat sulit untuk menembus *shield* seperti ini karena ketika fluks akan memasuki bahan konduktor ini, terbentuklah arus Eddy yang akan melawan penetrasi. Agar efektif, *shield* seperti ini harus melingkupi secara total suatu area yang ingin dilindungi, dan semua sambungan harus disambung dengan baik untuk meminimalisasi resistansi yang disebabkan oleh arus Eddy. (Terman, 1943)

Resistansi yang muncul akibat adanya penambahan *shield* dapat dihitung melalui persamaan:

$$R_s = \frac{9.37 \times 10^{-4} N^2 r_c^4 \sqrt{f\rho}}{r^4} \quad (2.11)$$

dimana,

N = jumlah lilitan kumparan (tanpa satuan)

r_c = jari-jari kumparan (m)

r = $\sqrt[3]{(\text{diameter shield})^2(\text{panjang shield})/8}$

f = frekuensi (Hz)

ρ = resistivitas dari *shield* (ohm per cm)

Persamaan di atas mengasumsikan bahwa tebal dari *shield* jauh lebih besar daripada tebal *skin depth*. Ketika tebal t dalam cm lebih kecil jika dibandingkan dengan *skin depth*, maka

$$R_s = \frac{4.7 N^2 \rho}{t} \left(\frac{r_c}{r}\right)^4 \quad (2.12)$$

Perbandingan antara medan magnet tanpa adanya *shield* dengan adanya *shield* tergantung pada hubungan antara perbandingan ketebalan *shield* t dengan *skin depth* ϵ , dirumuskan sebagai:

$$\frac{\text{Medan magnetik dengan adanya shield}}{\text{medan magnetik tanpa adanya shield}} = 0.24 \frac{r}{\epsilon} e^{\frac{t}{\epsilon}} \quad (2.13)$$

dimana,

$$r = \sqrt[3]{(\text{diameter shield})^2 (\text{panjang shield})} / 8 \quad (\text{m})$$

ϵ = *skin depth* yang dirumuskan pada (2.8) (m)

t = tebal *shield* (m)

$e = 2.718$

2.9 Angka Penting Pada Perhitungan

Unit Pelaksana Pendidikan Ilmu Pengetahuan Dasar Universitas Indonesia, 2008, menyatakan bahwa pada saat perhitungan harus diperoleh angka penting yang cukup sehingga pembulatan tidak mengalami kesalahan. Sebagai contoh:

$$0,91 \times 1,23 = 1,1 \quad \text{SALAH}$$

Dalam contoh di atas, angka 0,91 dan 1,23 memiliki dua angka desimal di belakang koma, dimana hasilnya 1,1 memiliki hanya satu angka desimal di belakang koma. Dalam kasus ini, akurasi hasil berkurang karena kesalahan pembulatan. Contoh lainnya adalah:

$$0,91 \times 1,23 = 1,1193 \quad \text{SALAH}$$

Dijit tambahan yang tidak penting merupakan beban dan mengakibatkan hasil menjadi salah. Contoh lain:

$$0,91 \times 1,23 = 1,12 \quad \text{BENAR}$$

$$0.91 \times 1,23 = 1,119 \quad \text{kurang baik, tapi bisa diterima}$$

Dalam perkalian atau pembagian haruslah dipakai jumlah yang sama dari angka penting dari hasil sebagai faktor terakhir.

2.10 Perhitungan Bilangan Kompleks

Johnson, 1997 menyatakan bahwa sebuah bilangan kompleks merupakan penjumlahan dari sebuah bilangan real dan sebuah bilangan imajiner.

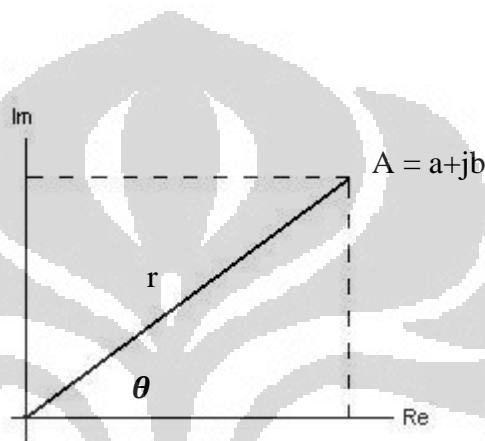
$$A = a + jb$$

dimana a dan b adalah bilangan real. Bilangan kompleks A memiliki *bagian real*, a , dan *bagian imajiner*, b , yang kadang-kadang diekspresikan sebagai

$$a = \operatorname{Re}A$$

$$b = \operatorname{Im}A$$

Bilangan kompleks $A = a+jb$ juga dapat dipetakan pada bidang kompleks dengan menentukan jarak R di sepanjang garis dari titik asal $(0,0)$ dan sudut θ yang dibuat oleh garis ini dengan sumbu real, sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut,



Gambar 2.6 Bidang Polar Bilangan Kompleks
Sumber: (Nilsson & A.Riedel, 1996)

Dari segitiga di atas, kita dapat menentukan

$$r = \sqrt{(a^2 + b^2)}$$

$$\theta = \tan^{-1}(b/a)$$

dan

$$a = r \cos\theta$$

$$b = r \sin\theta$$

sehingga dalam bentuk polarnya, bilangan kompleks direpresentasikan oleh:

$$A = r \angle \theta$$

R disebut magnitudo, dan θ disebut sudut.

Kita dapat dengan mudah mengkonversi bentuk bilangan kompleks dari bentuk *rectangular* ke bentuk *polar*.

Misalnya,

$$A = 4+j3$$

Maka,

$$r = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5$$

$$\theta = \tan^{-1}(3/4) = 36.9^\circ$$

Sehingga dalam bentuk polarnya, bilangan kompleks di atas adalah $5 \angle 36.9^\circ$.

Operasi penjumlahan, pengurangan, perkalian, dan pembagian bilangan kompleks sama seperti operasi yang dilakukan pada bilangan real.

Secara umum, penambahan dan pengurangan bilangan kompleks adalah sebagai berikut,

$$(a+jb) + (c+jd) = (a+c) + j(b+d)$$

dan

$$(a+jb) - (c+jd) = (a-c) + j(b-d)$$

Sementara, perkalian bilangan kompleks dapat dilakukan sebagai berikut,

$$A = a+jb$$

$$B = c+jd$$

Maka,

$$AB = (a+jb)(c+jd) = ac + jad + jbc + j^2bd = (ac-bd) + j(ad+bc)$$

Dalam bentuk polarnya,

$$A = r_1 \angle \theta_1$$

$$B = r_2 \angle \theta_2$$

Pembagian bilangan kompleks dapat dilakukan sebagai berikut,

$$\frac{A}{B} = \frac{a+jb}{c+jd}$$

Karena $j = \sqrt{-1}$ maka kita harus merasionalisasi bagian penyebut dengan cara berikut,

$$\frac{A}{B} = \frac{a+jb}{c+jd} \cdot \frac{c-jd}{c-jd}$$

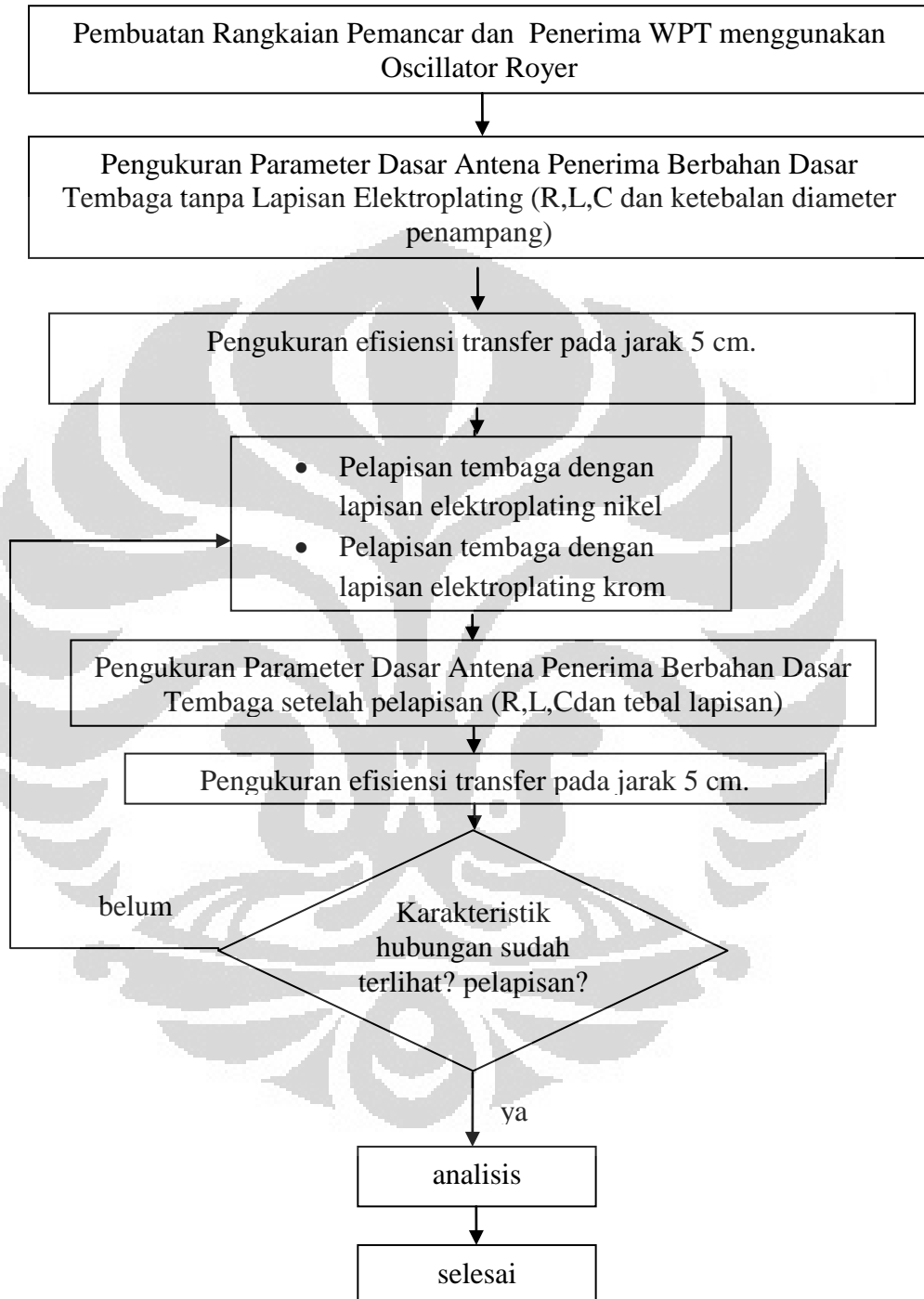
$$\frac{A}{B} = \frac{(ac+bd) + j(bc-ad)}{c^2+d^2}$$

Dalam bentuk polarnya,

$$\frac{A}{B} = \frac{r_1 \angle \theta_1}{r_2 \angle \theta_2} = \frac{r_1}{r_2} \angle \theta_1 - \theta_2$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

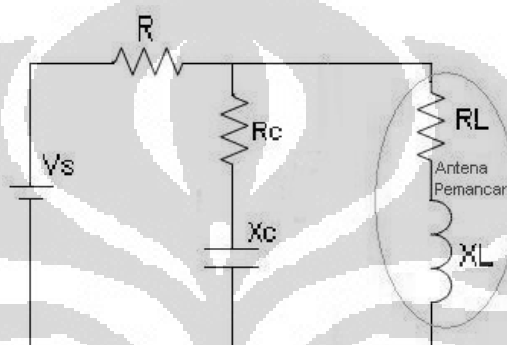
Tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

3.1 Pembuatan Rangkaian Pemancar dan Penerima WPT menggunakan Oscillator Royer

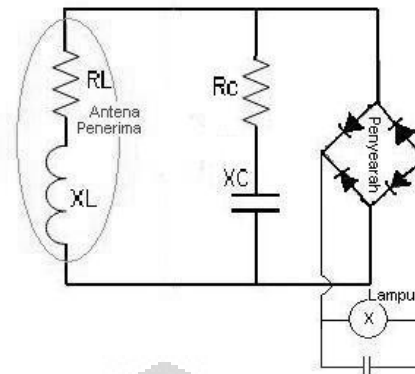
Untuk memancarkan fluks magnetik, penulis menggunakan *oscillator* royer pada sisi pemancarnya. Adapun rangkaian ini sudah banyak digunakan dalam transfer daya listrik tanpa kabel menggunakan prinsip resonansi magnetik karena mampu menghasilkan frekuensi yang sesuai dengan frekuensi yang dibutuhkan pada WPT yaitu antara 100 kHz hingga 10 MHz. Rangkaian ganti pemancar dengan menggunakan *oscillator* Royer adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2 Rangkaian Ekuivalen Pemancar Menggunakan Oscillator Royer

Pada bagian *coil* (antena pemancar), penulis menggunakan tembaga dengan bentuk *tubing* karena memiliki rugi-rugi *skin effect* yang paling kecil jika dibandingkan dengan *coil* dengan bentuk lainnya.

Pada bagian penerima, digunakan rangkaian RLC yang berfungsi untuk menangkap fluks magnetik dari pemancar dan mengubahnya ke GGL induksi. Adapun, frekuensi tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian penerima harus mendekati dengan frekuensi tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian pemancar agar terjadi resonansi magnetik. Kemudian, arus yang timbul karena adanya GGL induksi disearahkan dengan rangkaian penyearah dan kapasitor yang bertindak untuk mengurangi *ripple* sebelum mengalir ke beban. Rangkaian ganti penerima digambarkan sebagai berikut,



Gambar 3.3 Rangkaian Ekuivalen Penerima

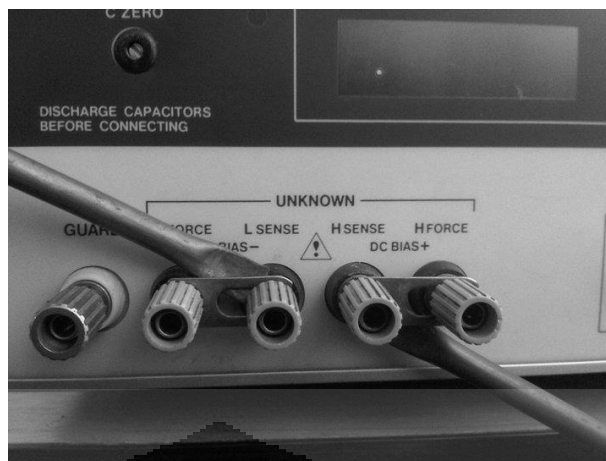
Pada bagian *coil* (antena penerima), penulis menggunakan tembaga dengan bentuk *tubing* karena memiliki rugi-rugi yang paling kecil jika dibandingkan dengan *coil* dengan bentuk lainnya.

3.2 Pengukuran Parameter Dasar Antena Penerima Berbahan Dasar Tembaga tanpa Lapisan Elektroplating.

3.2.1 Pengukuran Resistansi

Pengukuran resistansi (R) pada antena penerima dilakukan dengan menggunakan RLC meter. Untuk penentuan satu nilai resistansi, dilakukan 10 kali percobaan yang kemudian diambil rata-ratanya agar nilai yang didapat akurat. Tahapan yang dilakukan untuk mengukur resistansi antena penerima adalah sebagai berikut:

- a. Nyalakan RLC meter dan lakukan kalibrasi.
- b. Pasang antena penerima pada bagian dengan menghubungkan satu kaki antena pada bias positif RLC meter dan kaki lainnya dihubungkan pada bias negatifnya. Pastikan kaki antena terpasang dengan baik.



Gambar 3.4 Pemasangan Kaki Antena Pada RLC Meter

- c. Kemudian, tekan tombol R pada RLC. Maka RLC meter akan menunjukkan nilai resistansi dari bahan yang diukur.
- d. Catat nilai resistansi yang ditunjukkan RLC meter.
- e. Matikan RLC meter dan lepaskan kembali kaki-kaki antena penerima dari bias positif dan bias negative RLC meter.
- f. Ulangi kembali langkah a sampai e, hingga didapat 10 nilai resistansi hasil pengukuran

Adapun pengukuran yang dilakukan dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.5 Pengukuran Resistansi Antena Penerima Tembaga Tanpa Lapisan dengan Menggunakan RLC Meter

3.2.2 Pengukuran Induktansi

Pengukuran Induktansi (L) pada antena penerima dilakukan dengan menggunakan RLC meter. Untuk penentuan satu nilai induktansi dilakukan 10 kali pengukuran yang kemudian diambil rata-ratanya agar nilai yang didapat

akurat. Tahapan yang dilakukan untuk mengukur induktansi pada antenna penerima adalah sebagai berikut:

- a. Nyalakan RLC meter dan lakukan kalibrasi.
- b. Pasang antenna penerima pada bagian dengan menghubungkan satu kaki antenna pada bias positif RLC meter dan kaki lainnya dihubungkan pada bias negatifnya seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3.
- c. Kemudian, tekan tombol L pada RLC. Maka RLC meter akan menunjukkan nilai induktansi dari bahan yang diukur.
- d. Catat nilai induktansi yang ditunjukkan RLC meter.
- e. Matikan RLC meter dan lepaskan kembali kaki-kaki antenna penerima dari bias positif dan bias negatif RLC meter.
- f. Ulangi kembali langkah a sampai e, hingga didapat 10 nilai induktansi hasil pengukuran.

Adapun pengukuran yang dilakukan digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.6 Pengukuran Induktansi Antena Penerima Tembaga Tanpa Lapisan dengan Menggunakan RLC Meter

3.2.3 Pengukuran Kapasitansi

Pengukuran kapasitansi (C) pada antenna penerima dilakukan dengan menggunakan RLC meter. Untuk penentuan satu nilai kapasitansi, dilakukan 10 kali pengukuran yang kemudian diambil rata-ratanya agar nilai yang didapat akurat. Tahapan yang dilakukan untuk mengukur kapasitansi antenna penerima adalah sebagai berikut:

- a. Nyalakan RLC meter dan lakukan kalibrasi.

- b. Pasang antena penerima pada bagian dengan menghubungkan satu kaki antena pada bias positif RLC meter dan kaki lainnya dihubungkan pada bias negatifnya seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3.
- c. Kemudian, tekan tombol R pada RLC. Maka RLC meter akan menunjukkan nilai kapasitansi dari bahan yang diukur.
- d. Catat nilai kapasitansi yang ditunjukkan RLC meter.
- e. Matikan RLC meter dan lepaskan kembali kaki-kaki antena penerima dari bias positif dan bias negatif RLC meter.
- f. Ulangi kembali langkah a sampai e, hingga didapat 10 nilai kapasitansi hasil pengukuran.

Setelah RLC meter dinyalakan, tombol C pada RLC meter ditekan. Maka RLC meter akan menunjukkan nilai kapasitansi dari bahan yang diukur. Adapun pengukuran yang dilakukan digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.7 Pengukuran Kapasitansi Antena Penerima Tembaga Tanpa Lapisan dengan Menggunakan RLC Meter

3.2.4 Pengukuran Ketebalan Diameter Penampang Antena Penerima Berbahan Dasar Tembaga tanpa Lapisan Elektroplating.

Pengukuran ketebalan diameter penampang antena sebelum adanya pelapisan dilakukan untuk mengetahui nilai awal diameter penampang sebagai faktor pengurang untuk mencari ketebalan lapisan elektroplating setelah adanya pelapisan. Pengukuran ketebalan diameter penampang antena penerima dilakukan dengan menggunakan mikrometer sekrup yang memiliki tingkat ketelitian yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan jangka sorong atau penggaris. Pengukuran ketebalan diameter penampang dilakukan pada tiga titik *fix* di antena, dimana setiap satu titik diukur sebanyak 10 kali dan diambil nilai rata-ratanya agar hasil

pengukuran yang didapat akurat. Tahapan yang dilakukan untuk mengukur ketebalan diameter penampang antenna penerima adalah sebagai berikut:

- a. Siapkan meteran bahan, mikrometer sekrup, antenna penerima, dan spidol.
- b. Tentukan 3 jarak dari titik *start* pada keliling antenna penerima yang akan diukur. Misalkan (28 cm, 40 cm dan 48 cm)
- c. Gunakan meteran untuk menandai ketiga titik yang telah ditentukan pada keliling antenna.
- d. Tandai ketiga titik tersebut dengan spidol.
- e. Ukur ketebalan di satu titik dengan menggunakan micrometer sekrup sebanyak 10 kali percobaan.
- f. Catat hasil pengukuran dan cari nilai rata-ratanya.
- g. Ulangi langkah e sampai f untuk kedua titik lainnya

Adapun pengukuran ketebalan diameter penampang antenna penerima digambarkan sebagai berikut,



Gambar 3.8 Penandaan Titik-Titik Tertentu Pada Antena yang Akan Diukur Ketebalannya



Gambar 3.9 Pengukuran Ketebalan Diameter Penampang Antena Tembaga

3.3 Pengukuran Efisiensi Transfer Daya di Antena pada Jarak *Fix*

Adapun efisiensi transfer daya pada antena dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi transfer} = \frac{\text{Daya pada Antena Penerima}}{\text{Daya Pada Antena Pemancar}} \quad (3.1)$$

dimana,

$$\text{Daya pada Antena Penerima} = \frac{V_{\text{rms Antena Penerima}}}{Z^2_{\text{Antena Penerima}}} \quad (3.2)$$

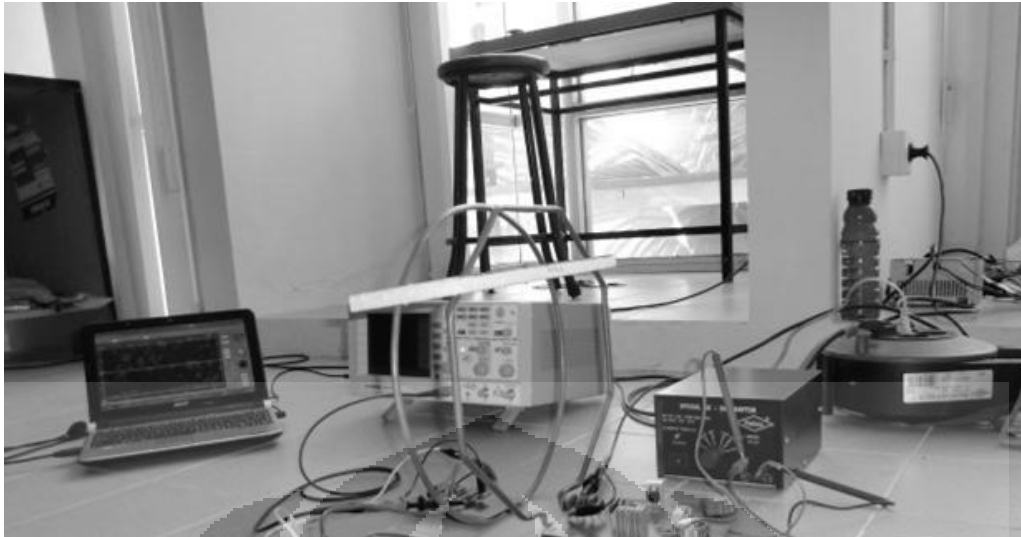
$$\text{Daya pada Antena Pemancar} = \frac{V_{\text{rms Antena Pemancar}}}{Z^2_{\text{Antena Pemancar}}} \quad (3.3)$$

Oleh karena itu, untuk menentukan daya yang dipancarkan oleh antena pemancar maupun daya yang diterima oleh antena penerima, penulis mengukur V_{rms} di antena pemancar maupun antena penerima dan melakukan analisis rangkaian pemancar dan penerima untuk menentukan impedansinya.

3.3.1 Pengukuran Tegangan *Root Mean Square* (V_{rms}) pada Antena Penerima dan Pemancar.

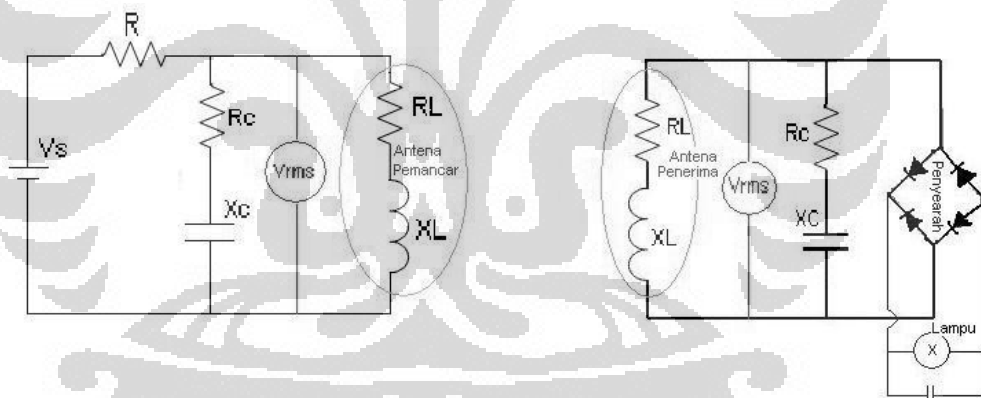
Pengukuran tegangan V_{rms} dilakukan dengan tidak mengubah parameter apapun (jarak, beban alat ukur, beban rangkaian) kecuali ketebalan penampang antena penerima (setelah adanya pelapisan).

Pengukuran tegangan V_{rms} dilakukan dengan menggunakan dua buah *oscilloscope* (*oscilloscope* digital dan *oscilloscope* pc), dimana probe masing-masing *oscilloscope* ditempatkan pada titik tegangan antena penerima dan antena pemancar. Adapun pengukuran V_{rms} digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.10 Pengukuran Vrms dengan Menggunakan *Oscilloscope* Digital dan *Oscilloscope* PC

Jika disederhanakan ke dalam bentuk rangkaian listriknya, maka pengukuran Vrms pada antenna penerima dan pemancar digambarkan sebagai berikut:

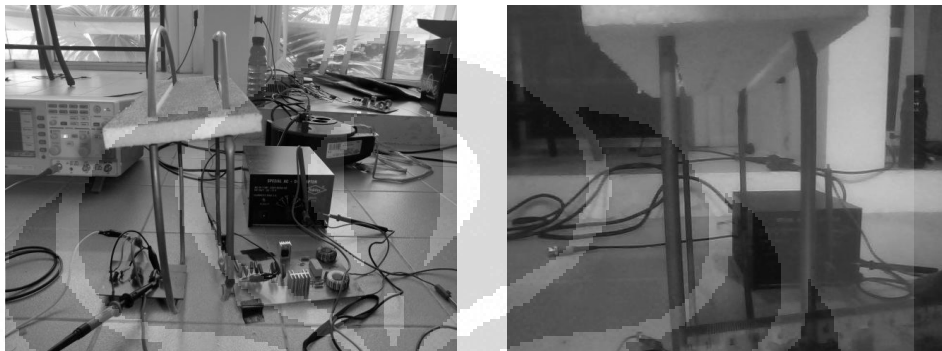


Gambar 3.11 Rangkaian Ekivalen Pengukuran Vrms

Karena Vrms selalu berubah setiap waktu, maka pengambilan Vrms pada antenna pemancar dan penerima haruslah pada satu waktu instan (*instantaneous time*) yang tepat sama. Hal ini dilakukan dengan cara menekan tombol stop pada dua oscilloscope secara tepat bersamaan, kemudian melihat Vrms yang terukur pada kedua *oscilloscope* tersebut.

Kemudian pengukuran dilakukan sebanyak 10 kali agar setelah data diolah dan dirata-ratakan didapat nilai data yang lebih akurat. Tahapan pengukuran Vrms pada antenna penerima dan pemancar adalah sebagai berikut:

- a. Siapkan dua buah *oscilloscope* beserta probenya, rangkaian pemancar dengan antena pemancar yang sudah terpasang, rangkaian antena penerima dengan antena penerima yang sudah terpasang, sterofom pembatas jarak, dan *power supply*.
- b. Hubungkan *power supply* ke rangkaian pemancar.
- c. Masukkan antena penerima dan pemancar ke sterofom pembatas jarak, dan ukur agar setiap jarak antena penerima ke pemancar adalah 5 cm.



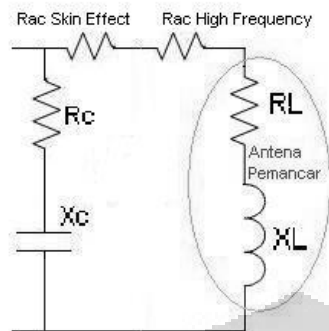
Gambar 3.12 Antena Penerima dan Pemancar dimasukkan ke Sterofoam Pembatas Jarak, kemudian Diukur Agar Setiap Jarak Antena Pemancar-Penerima Berjarak 5 cm

- d. Hubungkan *probe* dari satu *oscilloscope* ke kapasitor pada rangkaian pemancar dan *probe* dari *oscilloscope* lainnya ke kapasitor pada rangkaian penerima.
- e. Nyalakan *power supply*.
- f. Tekan tombol stop simulasi pada dua buah *oscilloscope* secara tepat bersamaan.
- g. Catat Vrms dan frekuensi yang terukur di antena penerima dan pemancar.
- h. Matikan *power supply* dan tekan kembali tombol start pada masing-masing *oscilloscope*.
- i. Ulangi langkah e sampai g hingga didapat 10 data pengukuran.

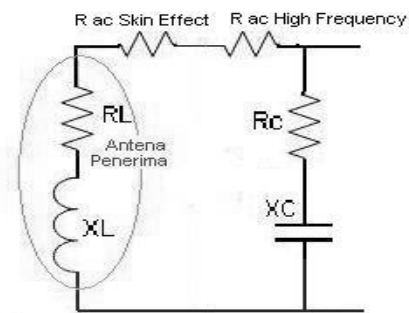
3.3.2 Penentuan Nilai Impedansi (Z) pada Rangkaian Antena Penerima dan Antena Pemancar.

Penentuan nilai impedansi dilakukan dengan menggunakan analisis pada rangkaian penerima dan pemancar. Perlu dicatat bahwa karena rangkaian ganti yang mendapat Vrms dialiri arus AC, maka akan timbul resistansi AC (*skin effect*) dan resistansi AC pada frekuensi tinggi (*high frequency resistance*). Sehingga

impedansi rangkaian penerima dan pemancar dapat disederhanakan sebagai berikut:



Gambar 3.14 Rangkaian Ganti Z Pemancar



Gambar 3.13 Rangkaian Ganti Z Penerima

Adapun impedansi (Z) yang digunakan untuk mencari efisiensi daya pada rangkaian pemancar adalah,

$$Z = (\text{Rac Skin effect} + \text{Rac High Frequency} + R_L + jX_L) / (R_C - jX_C) \quad (3.4)$$

$$Z = \frac{(\text{Rac Skin effect} + \text{Rac High Frequency} + R_i + jX_i)(R_C - jX_C)}{(\text{Rac Skin effect} + \text{Rac High Frequency} + R_i + jX_i) + (R_C - jX_C)} \quad (3.5)$$

dimana,

$$X_L = 2\pi f \cdot L \quad (3.6)$$

$$X_C = 1/2\pi f \cdot C \quad (3.7)$$

Adapun impedansi (Z) yang digunakan untuk mencari efisiensi daya pada rangkaian penerima adalah,

$$Z = (\text{Rac Skin effect} + \text{Rac High Frequency} + R_L + jX_L) / (R_C - jX_C) \quad (3.8)$$

$$Z = \frac{(\text{Rac Skin effect} + \text{Rac High Frequency} + R_i + jX_i)(R_C - jX_C)}{(\text{Rac Skin effect} + \text{Rac High Frequency} + R_i + jX_i) + (R_C - jX_C)} \quad (3.9)$$

dimana,

$$X_L = 2\pi f \cdot L \quad (3.10)$$

$$X_C = 1/2\pi f \cdot C \quad (3.11)$$

Besarnya impedansi (Z) pada rangkaian pemancar maupun penerima dicari dengan menggunakan Microsoft excel. Adapun hasilnya dilampirkan pada bagian lampiran.

3.4 Pengukuran Parameter Dasar Antena Penerima Setelah Dilapisi Lapisan Elektroplating.

3.4.1 Pengukuran Resistansi

Pengukuran resistansi (R) pada antena penerima dilakukan dengan menggunakan RLC meter. Setelah RLC meter dinyalakan, tombol R pada RLC meter ditekan. Maka RLC meter akan menunjukkan nilai resistansi dari bahan yang diukur. Untuk penentuan satu nilai resistansi, dilakukan 10 kali pengukuran yang kemudian diambil rata-ratanya agar nilai yang didapat akurat. Tahapan pengukuran resistansi sama dengan yang telah dijabarkan pada bagian 3.2.1 a sampai f. Adapun pengukuran yang dilakukan digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.15 Pengukuran Resistansi Antena Penerima Tembaga setelah Pelapisan dengan Menggunakan RLC Meter

3.4.2 Pengukuran Induktansi

Pengukuran Induktansi (L) pada antena penerima dilakukan dengan menggunakan RLC meter. Setelah RLC meter dinyalakan, tombol L pada RLC meter ditekan. Maka RLC meter akan menunjukkan nilai induktansi dari bahan yang diukur. Untuk penentuan satu nilai induktansi, dilakukan 10 kali pengukuran yang kemudian diambil rata-ratanya agar nilai yang didapat akurat. Tahapan pengukuran induktansi sama dengan yang telah dijabarkan pada bagian 3.2.2 a sampai f. Adapun pengukuran yang dilakukan digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.16 Pengukuran Induktansi Antena Penerima Tembaga setelah Pelapisan dengan Menggunakan RLC Meter

3.4.3 Pengukuran Kapasitansi

Pengukuran kapasitansi (C) pada antena penerima dilakukan dengan menggunakan RLC meter. Setelah RLC meter dinyalakan, tombol C pada RLC meter ditekan. Maka RLC meter akan menunjukkan nilai kapasitansi dari bahan yang diukur. Untuk penentuan satu nilai kapasitansi, dilakukan 10 kali pengukuran yang kemudian diambil rata-ratanya agar nilai yang didapat akurat. Tahapan pengukuran kapasitansi sama dengan yang telah dijabarkan pada bagian 3.2.3 a sampai f. Adapun pengukuran yang dilakukan digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.17 Pengukuran Kapasitansi Antena Penerima Tembaga setelah Pelapisan dengan Menggunakan RLC Meter

3.4.4 Pengukuran Ketebalan Lapisan Elektroplating.

Pengukuran ketebalan lapisan elektroplating dilakukan dengan cara mengukur diameter penampang antena setelah antena penerima diberi lapisan elektroplating. Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan mikrometer sekrup pada tiga titik *fix* di antena, dimana setiap satu titik diukur sebanyak 10

kali. Tahapan pengukuran diameter antenna penampang sama dengan yang telah dijabarkan pada bagian 3.2.4 a sampai f. Adapun kenaikan tebal lapisan elektroplating dirumuskan sebagai,

Δ Tebal Lapisan = Rata-rata (Diameter Setelah Pelapisan – Diameter Sebelum Pelapisan)

Pengukuran ketebalan diameter penampang antenna penerima digambarkan sebagai berikut,



Gambar 3.18 Pengukuran Ketebalan Diameter Penampang Antena Setelah Pelapisan

3.5 Pelapisan Antena Penerima Tembaga dengan Lapisan Elektroplating

Antena tembaga dilapisi dengan lapisan elektroplating berbahan material *magnetic shield* agar dapat dilihat apakah ada pengaruhnya terhadap efisiensi transfer dayanya atau tidak. Material *magnetic shield* yang digunakan dalam penelitian ini adalah nikel dan krom, karena pelapisan elektroplating dengan bahan ini mudah dijumpai di pasaran. Adapun pelapisan dilakukan di sebuah bengkel elektroplating karena tidak adanya bahan-bahan dan alat elektroplating di Universitas Indonesia.

4. HASIL PERCOBAAN DAN ANALISIS

4.1 Hasil Percobaan Pada Pelapisan Antena Tembaga dengan Lapisan Elektroplating Nikel

Berikut adalah data yang diperoleh dari percobaan pada saat antena penerima belum diberi lapisan elektroplating nikel:

Tabel 4.1 Data Hasil Percobaan Pengukuran Tebal Diameter Penampang, Parameter listrik (R,L,C), V rms, Frekuensi dan Efisiensi saat Antena Penerima Belum Diberi Lapisan Elektroplating

Percobaan ke-	Kondisi	Diameter penampang (mm)			Antena pemancar			Antena Penerima			Vrms Pemanca r (V)	F Pemanca r (kHz)	Magnitud e Z (Ω)	P pema ncar (W)	V rms Penerima (V)	F penerima (kHz)	magnitud e Z (Ω)	P penerima (W)	Efisien si (%)
		titik 1	titik 2	titik 3	RL (Ω)	L (uH)	C(F)	RL (Ω)	L (uH)	C(F)									
1	Tembaga	6.43	6.41	6.45	0.004	0.8	-	0.002	0.8	-	18.70	771.00	3.88	90.19	9.29	759.80	3.82	22.59	25.04
2		6.43	6.41	6.45	0.003	0.8	-	0.002	0.8	-	19.70	755.00	3.80	102.22	10.30	759.50	3.82	27.78	27.17
3		6.43	6.41	6.45	0.005	0.8	-	0.002	0.8	-	17.40	750.00	3.77	80.27	10.30	758.30	3.81	27.82	34.66
4		6.43	6.41	6.45	0.005	0.8	-	0.002	0.8	-	16.40	757.00	3.81	70.65	8.83	757.60	3.81	20.47	28.97
5		6.43	6.41	6.45	0.004	0.8	-	0.002	0.8	-	15.20	757.00	3.81	60.69	10.20	761.40	3.83	27.17	44.77
6		6.43	6.41	6.45	0.004	0.8	-	0.002	0.8	-	14.60	750.00	3.77	56.52	10.20	758.90	3.82	27.26	48.24
7		6.43	6.41	6.45	0.004	0.8	-	0.002	0.8	-	15.40	745.00	3.75	63.30	11.00	738.90	3.72	32.56	51.44
8		6.43	6.41	6.45	0.004	0.8	-	0.002	0.8	-	14.80	741.00	3.73	58.78	12.70	743.30	3.74	43.15	73.41
9		6.43	6.41	6.45	0.004	0.8	-	0.002	0.8	-	17.60	749.00	3.77	82.24	11.30	746.30	3.75	34.02	41.37
10		6.43	6.41	6.45	0.004	0.8	-	0.002	0.8	-	14.90	740.00	3.72	59.66	12.20	744.40	3.74	39.76	66.65
rata2		6.43	6.41	6.45	0.004	0.8	-	0.002	0.8	-	16.47	751.50			10.63	752.84	3.79		44.17
Δ ketebalan (mm)		0.41	0.39	0.40															
Rata2 Δ ketebalan		0.40																	

Berikut adalah data yang diperoleh dari percobaan yang telah dilakukan pada saat antenna penerima diberi lapisan elektroplating nikel untuk pertama kali:

Tabel 4.2 Data Hasil Percobaan Pengukuran Tebal Lapisan, Parameter listrik (R,L,C), V_{rms} , Frekuensi dan Efisiensi saat Antena Penerima diberi Lapisan Elektroplating Nikel untuk Pertama Kali

Percobaan ke-	Kondisi	Diameter penampang +Tebal lapisan (mm)			Antena pemancar			Antena Penerima			V_{rms} Pemancar (V)	F Pemancar (kHz)	Magnitudo Z (Ω)	P pemancar (W)	V_{rms} Penerima (V)	F penerima (kHz)	magnitudo Z (Ω)	P penerima (W)	Efisiensi (%)
		titik 1	titik 2	titik 3	RL (Ω)	L (uH)	C(F)	RL (Ω)	L (uH)	C(F)									
1	pelapisan nikel 1	6.53	6.48	6.54	0.004	0.8	-	0.004	0.8		16.30	756.00	3.80	69.89	8.04	759.50	3.82	16.92	24.22
2		6.53	6.48	6.54	0.003	0.8	-	0.004	0.8		16.50	759.00	3.82	71.33	10.30	762.70	3.84	27.66	38.78
3		6.53	6.48	6.54	0.005	0.8	-	0.003	0.8		18.30	762.00	3.83	87.40	9.98	763.90	3.84	25.93	29.67
4		6.53	6.48	6.54	0.005	0.8	-	0.005	0.8		17.10	762.00	3.83	76.31	11.50	764.70	3.85	34.39	45.07
5		6.53	6.48	6.54	0.004	0.8	-	0.003	0.8		16.20	757.00	3.81	68.94	11.00	759.00	3.82	31.70	45.98
6		6.53	6.48	6.54	0.004	0.8	-	0.004	0.8		15.20	755.00	3.80	60.85	8.47	753.80	3.79	18.93	31.10
7		6.53	6.48	6.54	0.004	0.8	-	0.003	0.8		16.50	762.00	3.83	71.05	8.67	759.50	3.82	19.68	27.70
8		6.53	6.48	6.54	0.004	0.8	-	0.003	0.8		15.80	758.00	3.81	65.49	9.89	761.40	3.83	25.55	39.01
9		6.53	6.48	6.54	0.004	0.8	-	0.003	0.8		19.30	757.00	3.81	97.85	8.39	754.70	3.80	18.55	18.96
10		6.53	6.48	6.54	0.004	0.8	-	0.004	0.8		15.90	757.00	3.81	66.41	9.18	757.60	3.81	22.12	33.31
rata2		6.53	6.48	6.54	0.004	0.8		0.004	0.8		16.71	758.50			9.54	759.68	3.82		33.38
Δ ketebalan (mm)		0.1	0.07	0.09															
Rata2 Δ ketebalan		0.09																	

Berikut adalah data yang diperoleh dari percobaan yang telah dilakukan pada saat antenna penerima diberi lapisan tambahan elektroplating nikel untuk yang kedua:

Tabel 4.3 Data Hasil Percobaan Pengukuran Tebal Lapisan, Parameter listrik (R,L,C), V rms, Frekuensi dan Effisiensi saat Antena Penerima diberi Lapisan Tambahan Elektroplating Nikel Untuk yang Kedua

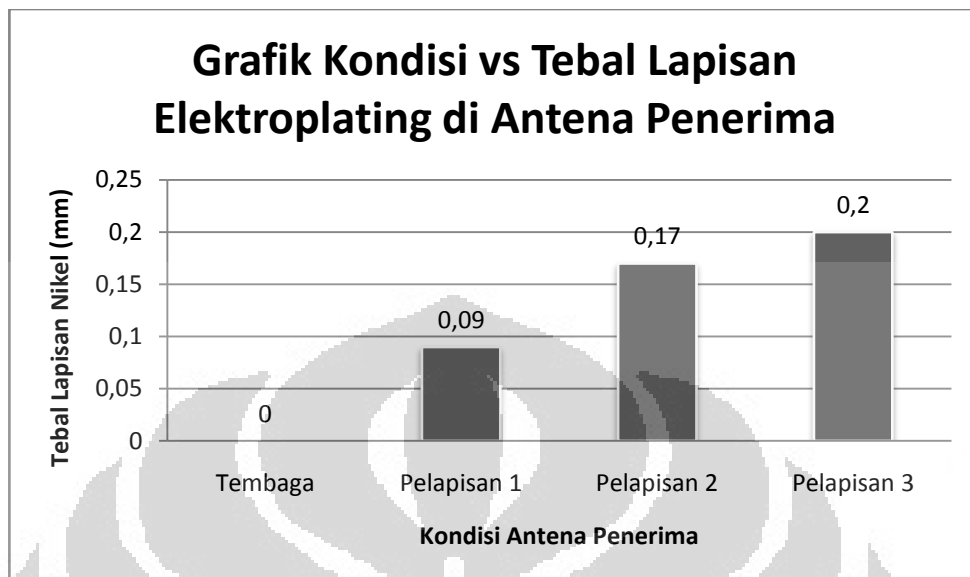
Percobaan ke-	Kondisi	Diameter penampang +Tebal lapisan (mm)			Antena pemancar			Antena Penerima			Vrms Pemanca r (V)	F Pemanca r (kHz)	Magnitud e Z (Ω)	P pema ncar (W)	V rms Penerima (V)	F penerima (kHz)	magnitud e Z (Ω)	P penerima (W)	Efisien si (%)
		titik 1	titik 2	titik 3	RL (Ω)	L (uH)	C(F)	RL (Ω)	L (uH)	C(F)									
1	pelapisan nikel 2	6.66	6.51	6.64	0.004	0.8	-	0.004	0.8		16.80	750.00	3.77	74.83	11.50	761.40	3.83	34.54	46.16
2		6.66	6.51	6.64	0.003	0.8	-	0.005	0.8		12.80	739.00	3.72	44.09	8.81	756.20	3.80	20.41	46.30
3		6.66	6.51	6.64	0.005	0.8	-	0.003	0.8		17.90	763.00	3.84	83.51	9.59	761.40	3.83	24.02	28.76
4		6.66	6.51	6.64	0.005	0.8	-	0.004	0.8		17.90	765.00	3.85	83.29	10.30	762.50	3.83	27.67	33.22
5		6.66	6.51	6.64	0.004	0.8	-	0.005	0.8		20.40	761.00	3.83	108.75	8.67	759.50	3.82	19.68	18.10
6		6.66	6.51	6.64	0.004	0.8	-	0.004	0.8		14.80	758.00	3.81	57.46	9.39	763.40	3.84	22.97	39.97
7		6.66	6.51	6.64	0.004	0.8	-	0.004	0.8		20.90	764.00	3.84	113.69	11.90	760.20	3.82	37.04	32.58
8		6.66	6.51	6.64	0.004	0.8	-	0.003	0.8		18.10	761.00	3.83	85.61	10.90	765.90	3.85	30.85	36.03
9		6.66	6.51	6.64	0.004	0.8	-	0.003	0.8		19.60	765.00	3.85	99.86	10.60	766.30	3.85	29.16	29.20
10		6.66	6.51	6.64	0.004	0.8	-	0.003	0.8		17.80	761.00	3.83	82.79	10.40	757.90	3.81	28.38	34.28
rata2		6.66	6.51	6.64	0.004	0.8		0.004	0.8		17.70	758.70			10.21	761.47	3.83		34.46
Δ ketebalan		0.23	0.1	0.19															
Rata2 Δ ketebalan		0.17																	

Berikut adalah data yang diperoleh dari percobaan yang telah dilakukan pada saat antenna penerima diberi lapisan tambahan elektroplating nikel untuk yang ketiga:

Tabel 4.4 Data Hasil Percobaan Pengukuran Tebal Lapisan, Parameter listrik (R,L,C), V rms, Frekuensi dan Efisiensi saat Antena Penerima diberi Lapisan Tambahan Elektroplating Nikel Untuk yang Ketiga

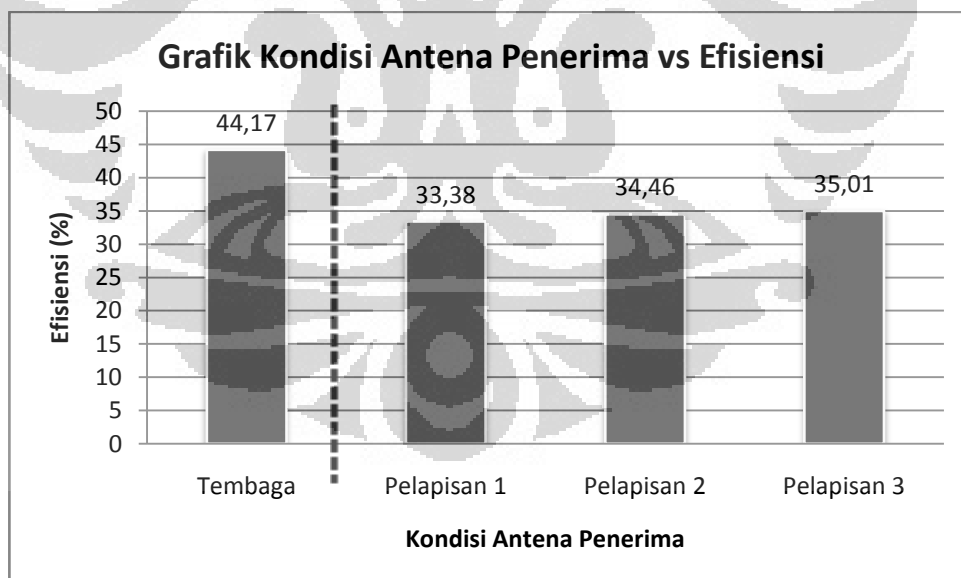
Percobaan ke-	Kondisi	Diameter penampang +Tebal lapisan (mm)			Antena pemancar			Antena Penerima			Vrms Peman car (V)	F Pemanca r (kHz)	Magnitud e Z (Ω)	P pemanca r (W)	V rms Penerima (V)	F penerima (kHz)	magnitud e Z (Ω)	P penerima (W)	Efisien si (%)
		titik 1	titik 2	titik 3	RL (Ω)	L (uH)	C(F)	RL (Ω)	L (uH)	C(F)									
1	pelapisan nikel 3	6.66	6.56	6.68	0.004	0.8		0.005	0.8		16.50	759.00	3.82	71.33	11.30	763.70	3.84	33.25	46.61
2		6.66	6.56	6.68	0.003	0.8		0.004	0.8		17.20	764.00	3.84	77.00	9.33	763.10	3.84	22.68	29.46
3		6.66	6.56	6.68	0.005	0.8		0.004	0.8		21.40	768.00	3.86	118.58	10.70	767.50	3.86	29.66	25.02
4		6.66	6.56	6.68	0.005	0.8		0.004	0.8		17.80	769.00	3.87	81.93	12.70	769.20	3.87	41.70	50.89
5		6.66	6.56	6.68	0.004	0.8		0.003	0.8		21.50	769.00	3.87	119.53	9.91	760.70	3.83	25.67	21.48
6		6.66	6.56	6.68	0.004	0.8		0.003	0.8		16.70	761.00	3.83	72.88	10.90	769.00	3.87	30.72	42.16
7		6.66	6.56	6.68	0.004	0.8		0.004	0.8		18.40	769.00	3.87	87.55	9.70	761.40	3.83	24.57	28.07
8		6.66	6.56	6.68	0.004	0.8		0.004	0.8		20.40	769.00	3.87	107.62	12.20	772.20	3.88	38.33	35.62
9		6.66	6.56	6.68	0.004	0.8		0.004	0.8		18.90	766.00	3.85	92.73	11.90	767.60	3.86	36.69	39.56
10		6.66	6.56	6.68	0.004	0.8		0.004	0.8		17.00	765.00	3.85	75.12	9.51	765.30	3.85	23.50	31.28
rata2		6.66	6.56	6.68	0.004	0.8		0.004	0.8		18.58	765.90			10.82	765.97	3.85		35.01
Δ ketebalan		0.23	0.15	0.23															
Rata2 Δ ketebalan		0.20																	

Dari keempat data di atas, maka dapat dibuat grafik kondisi antenna penerima terhadap tebal lapisan elektroplating sebagai berikut:



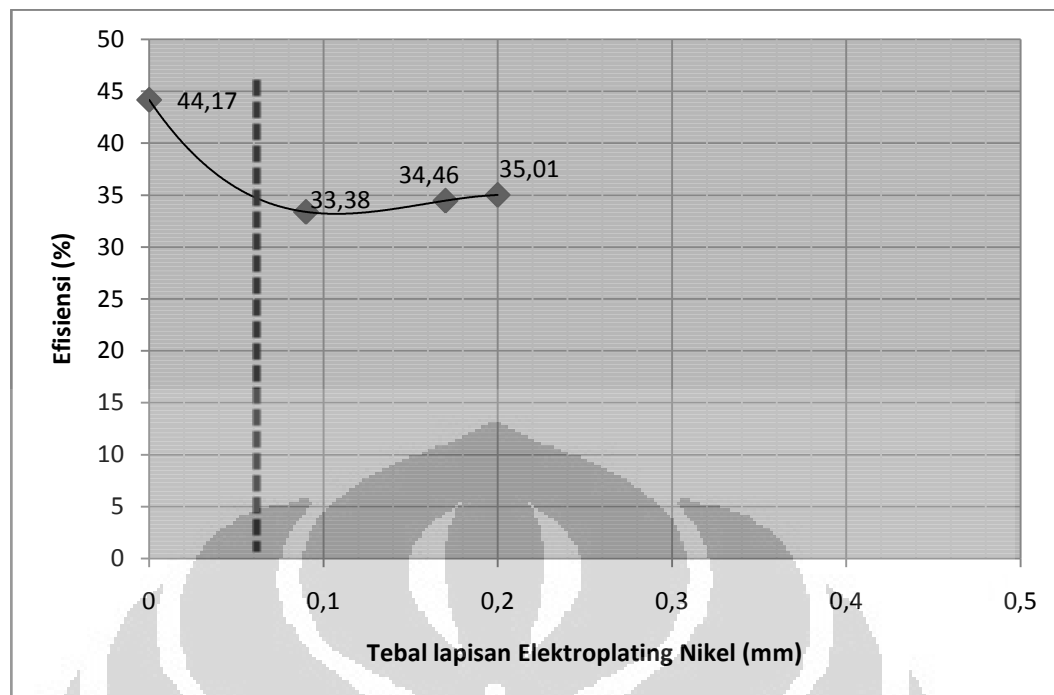
Gambar 4.1 Grafik Kondisi Antena Penerima terhadap Tebal Lapisan Elektroplating Nikel

Selain itu, dapat dilihat pula hubungan antara kondisi antenna penerima dengan efisiensi transfer daya.



Gambar 4.2 Kondisi Antena Penerima terhadap Efisiensi Transfer Daya Pada Percobaan Penambahan Lapisan Elektroplating Nikel

Sedangkan grafik tebal lapisan elektroplating terhadap efisiensi transfer daya listrik adalah sebagai berikut:



Gambar 4.3 Grafik Tebal Lapisan Elektroplating terhadap Efisiensi

Dari ketiga grafik di atas, maka dapat disimpulkan bahwa efisiensi transfer daya menjadi turun setelah adanya pelapisan elektroplating. Hal ini terlihat dengan jelas pada grafik 4.2. Ketika lapisan elektroplating dipertebal, efisiensi transfer masih jauh lebih kecil dibandingkan dengan efisiensi transfer daya sebelum diberi lapisan elektroplating tetapi efisiensi cenderung meningkat dibandingkan dengan keadaan saat lapisan elektroplating lebih tipis. Sehingga analisis untuk keadaan ini, dibagi menjadi dua bagian (ditandai dengan garis putus-putus), yaitu analisis saat efisiensi turun (perbandingan sebelum dan setelah antenna penerima diberi lapisan elektroplating) dan analisis saat efisiensi relatif naik (perbandingan saat lapisan elektroplating yang diberikan ke antenna penerima divariasikan).

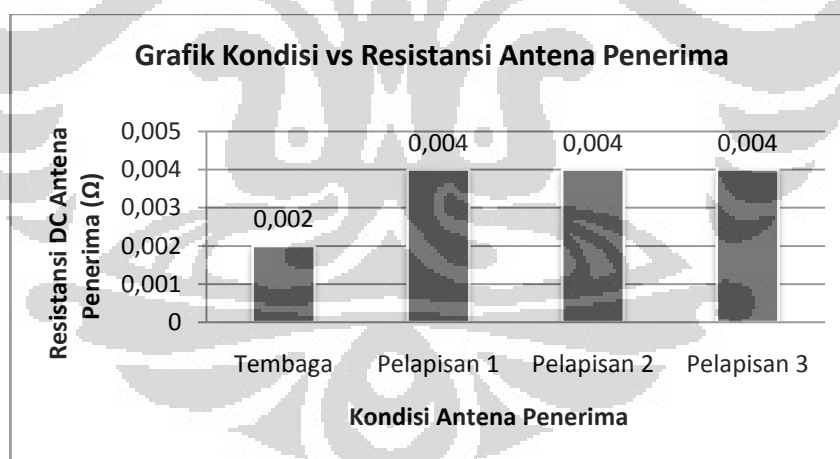
4.2 Analisis Hasil Percobaan Pada Pelapisan Antena Tembaga dengan Lapisan Elektroplating Nikel

4.2.1 Analisis Perbandingan Sebelum Dan Setelah Antena Penerima Diberi Lapisan Elektroplating

Efisiensi transfer daya jauh turun saat antena penerima diberi lapisan elektroplating. Hal ini terjadi karena beberapa hal, yaitu: bertambahnya resistansi dc (R_{dc}) antena penerima setelah diberi lapisan elektroplating yang kemudian akan membuat bertambahnya nilai resistansi ac *skin effect* (R_{ac} *skin effect*). Bertambahnya resistansi ac *skin effect* akan memberikan pengaruh secara langsung terhadap penurunan efisiensi, yang akan dijelaskan pada bagian 4.2.1.3 di bawah.

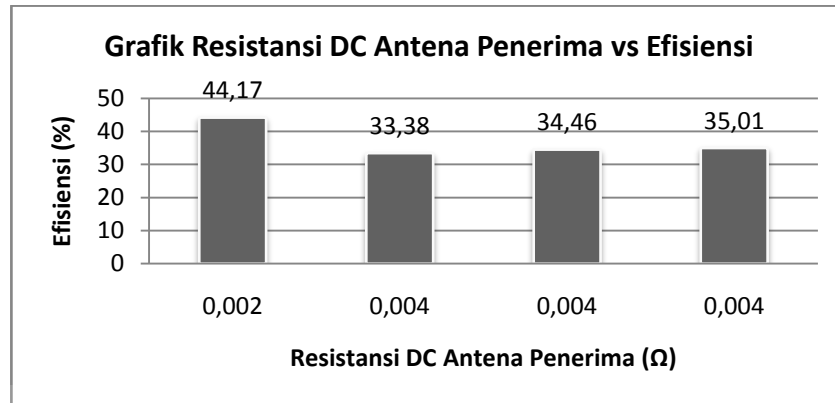
4.2.1.1 Pertambahan Resistansi DC Antena Penerima Setelah Diberi Lapisan Elektroplating

Dari keempat data hasil percobaan, dapat kita lihat bahwa resistansi DC antena penerima bertambah saat antena penerima dilapisi oleh lapisan elektroplating.



Gambar 4.4 Grafik Kondisi Antena Penerima terhadap Resistansi DC Antena Penerima pada Percobaan Penambahan Lapisan Elektroplating Nikel

Bertambahnya resistansi DC antena penerima akan menyebabkan bertambahnya resistansi ac *skin effect* pada antena karena terdapat hubungan antara keduanya yang akan dijabarkan pada bagian 4.2.1.2.



Gambar 4.5 Resistansi DC Antena Penerima terhadap Efisiensi pada Percobaan Penambahan Lapisan Elektroplating Nikel

4.2.1.2 Pertambahan Resistansi AC skin effect Antena Penerima Setelah Diberi Lapisan Elektroplating

Bertambahnya resistansi AC *skin effect* pada antena penerima setelah diberi lapisan elektroplating disebabkan oleh bertambahnya nilai R_{dc} setelah adanya pelapisan. Berdasarkan grafik yang terletak pada bagian 2.6.2.1 tentang *skin effect* dapat dicari resistansi AC yang disebabkan oleh *skin effect* pada antena penerima. Berikut salah satu contoh perhitungannya:

- **Percobaan 1**, mencari R_{ac} *skin effect* pada antena penerima dengan kondisi pelapisan nikel 1 -

- Diketahui: tebal tembaga+lapisan nikel (t) adalah 0.049 cm dan diameter penampang tembaga (d) adalah 0.652 cm. Frekuensi tegangan pada antena penerima adalah 759.5 kHz. R_{dc} antena penerima yang panjangnya 95.6 cm adalah 0.004 Ω.
- Maka, $t/d = 0.049/0.652 = 0.075$
- Sedangkan $\sqrt{f/R_{dc}}$ dimana frekuensi harus dalam **hertz** dan R_{dc} harus dalam **per 1000 kaki** adalah:

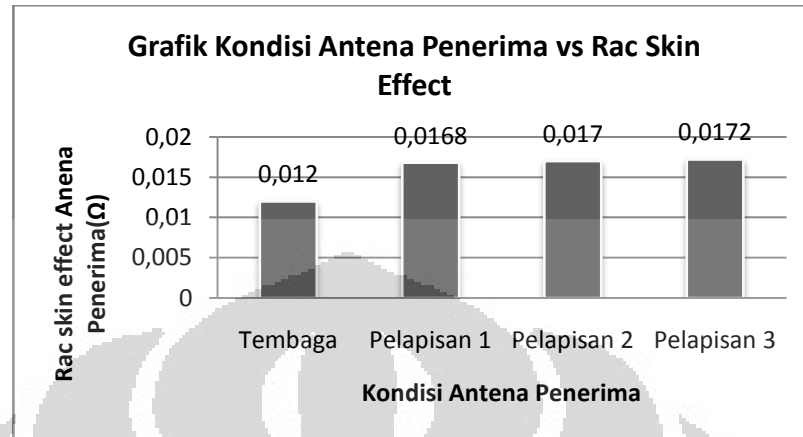
$$R_{dc} = \frac{0.004 \Omega}{95.6 \text{ cm}} \left(\frac{1 \text{ cm}}{0.032808 \text{ kaki}} \right) \left(\frac{1000}{1000} \right) = \frac{1.28 \Omega}{1000 \text{ kaki}}$$

$$\text{Sehingga } \sqrt{\frac{f}{R_{dc}}} = \sqrt{\frac{759 \times 10^3}{1.28}} = 770$$

- Dari grafik 2.1 dengan $t/d=0.075$ dan $\sqrt{f/R_{dc}}$, dapat kita tentukan $R_{ac}/R_{dc} = 4.2$, sehingga nilai R_{ac} *skin effect* = $4.2 \times 0.004 \Omega = 0.0168 \Omega$

Perhitungan R_{ac} *skin effect* untuk semua percobaan ada pada lampiran.

Jika kita lihat dari lampiran, maka kita dapat melihat bahwa *Rac skin effect* pada antenna penerima akan meningkat setelah adanya pelapisan elektroplating nikel. Digambarkan dengan grafik sebagai berikut:

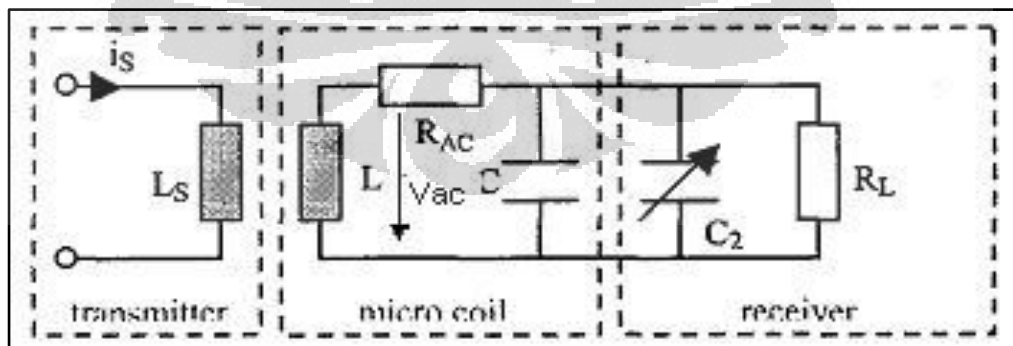


Gambar 4.6 Kondisi Antena Penerima terhadap Rac Skin Effect pada Percobaan Penambahan Lapisan Elektroplating Nikel

Peningkatan resistansi AC pada antenna penerima inilah yang akan secara langsung mempengaruhi efisiensi transfer daya yang akan dijelaskan pada bagian 4.2.1.3 ini.

4.2.1.3 Penurunan Efisiensi Karena Bertambahnya Resistansi AC Pada Antena Penerima.

Ullerich, dalam jurnalnya tentang *Telemetry* yang menggunakan prinsip transfer daya listrik nirkabel, mengatakan bahwa pada rangkaian ekuivalen seperti di bawah ini,



4.7 Gambar Rangkaian Transfer Daya Listrik Nirkabel yang Dirumuskan Ullerich

besarnya V_{ac} pada bagian penerima dapat dirumuskan sebagai,

$$V_{ac} \text{ penerima} = \frac{\omega \cdot M \cdot I_s}{\sqrt{\left(\frac{\omega \cdot L}{R_L} + \omega \cdot R_{ac} \cdot C\right)^2 + \left(1 - \omega^2 \cdot L \cdot C + \frac{R_{ac}}{R_L}\right)^2}} \quad (4.1)$$

dimana,

ω = frekuensi angular = $2\pi \cdot F$ (rad/s)

M = Induktansi diri = $\pi / \left(\frac{2\mu_0(r_1 r_2)^2}{D^3}\right)$ (H);

r_1 = jari-jari antenna pemancar (m);

r_2 = jari – jari antenna penerima(m);

μ_0 = konstanta permeabilitas ($H \cdot m^{-1}$)

D = jarak antara pemancar-penerima (m)

I_s = arus yang melewati antenna pemancar (A)

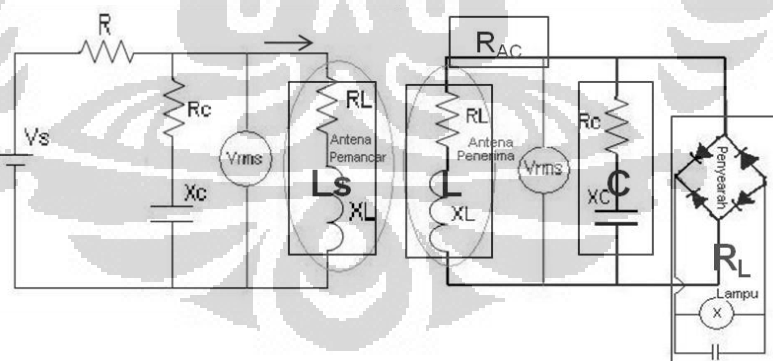
R_{ac} = Resistansi ac antenna penerima (Ω)

L = besar induktansi rangkaian penerima (H)

C = besar kapasitansi rangkaian penerima (F)

R_L = besar resistansi beban (Ω)

Sementara kita ketahui bahwa rangkaian transfer daya listrik nirkabel yang kita gunakan persis sama dengan yang digambarkan oleh Ullerich. Jika digambarkan sebagai berikut,



4.8 Gambar Rangkaian Ekuivalen yang Dipakai pada Percobaan yang Persis Sama Dengan Rangkaian Ekuivalen Ullerich

dimana, L_s adalah antenna pemancar, L adalah antenna penerima, C adalah kapasitor, R_L adalah lampu dan rangkaian penyearah. Sementara R_{ac} adalah resistansi yang timbul karena adanya *skin effect* dan frekuensi tinggi. Sehingga besarnya V_{ac} pada antenna penerima dapat diganti dengan menggunakan persamaan (4.1) tersebut.

Kita juga tahu berdasarkan persamaan (3.1), (3.2), dan (3.3) bahwa,

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Daya di antena Penerima}}{\text{Daya di antena pemancar}} = \frac{\left(\frac{V_{\text{rms penerima}}^2}{Z_{\text{penerima}}} \right)}{\left(\frac{V_{\text{rms pemancar}}^2}{Z_{\text{pemancar}}} \right)}$$

Dengan mengganti V_{rms} penerima pada persamaan (4.2) di atas dengan persamaan (4.1) dan daya pemancar juga dapat diganti dengan hasil kali V_{ac} pemancar dengan arus yang melewatinya (i_s), maka kita dapatkan

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Daya di antena Penerima}}{\text{Daya di antena pemancar}} = \frac{\left(\frac{\left(\frac{\omega \cdot M \cdot i_s}{\sqrt{\left(\frac{\omega \cdot L}{R_L} + \omega \cdot R_{ac} \cdot C \right)^2 + \left(1 - \omega^2 \cdot L \cdot C + \frac{R_{ac}}{R_L} \right)^2}} \right)^2}{Z_{\text{penerima}}} \right)}{V_{\text{ac pemancar}} \cdot i_s} \quad (4.2)$$

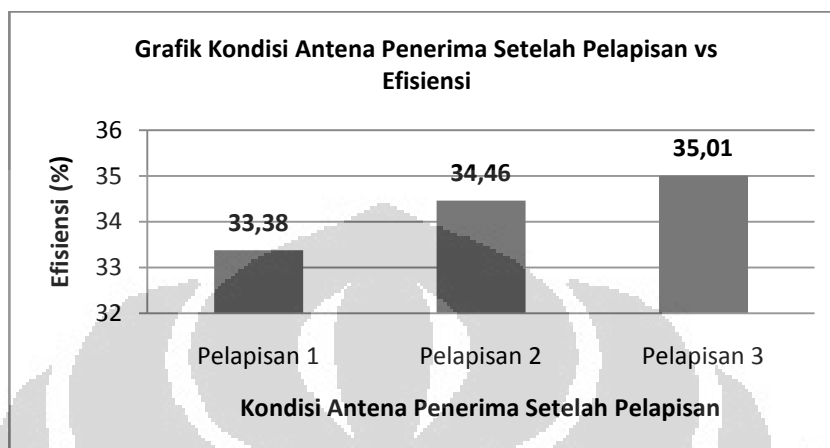
Dengan membagi nilai i_s pada bagian atas dan bawah, rumus di atas dapat disederhanakan sebagai berikut,

$$\text{Efisiensi} = \frac{\left(\frac{\left(\frac{\omega \cdot M}{\sqrt{\left(\frac{\omega \cdot L}{R_L} + \omega \cdot R_{ac} \cdot C \right)^2 + \left(1 - \omega^2 \cdot L \cdot C + \frac{R_{ac}}{R_L} \right)^2}} \right)^2}{Z_{\text{penerima}}} \right) i_s}{V_{\text{ac pemancar}}} \quad (4.3)$$

Kita ketahui pada percobaan yang kita lakukan besarnya M , L , C , R_L , ω tidak berubah (konstan). Besarnya V_{ac} pemancar juga berbanding lurus dengan i_s karena $V_{\text{ac pemancar}} = i_s \cdot Z$ sehingga i_s dan V_{ac} pemancar dapat kita bagi habis (jika V_{ac} pemancar naik dengan faktor a , maka i_s akan naik pula dengan faktor a). Adapun yang berubah hanyalah R_{ac} dan Z . Besar kedua nilai ini meningkat sehingga menyebabkan turunnya efisiensi.

4.2.2 Analisis Saat Efisiensi Relatif Naik (Perbandingan Saat Tebal Lapisan Elektroplating yang Diberikan ke Antena Penerima Divariasikan)

Saat lapisan elektroplating nikel dipertebal, efisiensi transfer daya pun cenderung meningkat. Hal ini dapat dilihat dari grafik di bawah ini,



Gambar 4.9 Grafik Kondisi Antena Penerima setelah Pelapisan terhadap Efisiensi pada Percobaan Penambahan Lapisan Elektroplating Nikel

Ketika tebal lapisan (t) nikel dipertebal, medan magnet yang diserap oleh antena penerima juga akan lebih besar melalui persamaan (2.10),

$$\frac{\text{Medan magnet tanpa adanya shield}}{\text{Medan magnet dengan adanya shield}} = 0.22\mu \left[1 - \left(1 - \frac{t}{r_0} \right)^3 \right]$$

Hukum Faraday mengatakan bahwa, Gaya gerak listrik induksi pada sebuah rangkaian tertutup sama dengan kecepatan perubahan fluks magnetik yang melalui rangkaian tersebut. Sementara besarnya fluks magnetik (Φ) merupakan fungsi dari medan magnetik (B) yang dirumuskan pada (2.5) sebagai $\Phi = B \cdot A = B A \cos \theta$. Hal ini berarti, nilai GGL (ϵ) yang diinduksikan pada antena penerima juga akan menjadi lebih besar ketika medan magnet lebih besar. Sementara, kita ketahui bahwa daya yang diserap pada antena penerima (P) dirumuskan pada bagian (3.2) sebagai V^2/Z . Sehingga dapat ditarik suatu hubungan, dengan hambatan rangkaian penerima yang tidak diubah, jika tegangan induksi yang diserap semakin besar maka nilai daya yang diserap oleh antena penerima juga akan semakin besar. Penjelasan inilah yang mengantarkan pada suatu kesimpulan bahwa penebalan lapisan elektroplating di antena penerima akan memperbesar penyerapan daya di antena penerima dan memperbesar efisiensi transfer dayanya (η).

Penjelasan di atas dapat digambarkan sebagai berikut,

$$t \uparrow - B \uparrow - \varphi \uparrow - \varepsilon \uparrow - P \uparrow - \eta \uparrow$$

Gambar 4.10 Penjelasan Singkat Kenaikan Efisiensi yang Disebabkan Oleh Penebalan Lapisan Elektroplating

bahwa perbandingan tegangan di antenna penerima dengan tegangan di antenna pemancar mengalami kenaikan. Secara matematis, kita dapat melakukan perhitungan untuk perbandingan antara tegangan di antenna penerima dengan tegangan di antenna pemancar sebagai berikut,

- Kondisi Pelapisan Nikel 1

$$\frac{V_{rms} \text{ penerima}}{V_{rms} \text{ pemancar}} = \frac{9.54}{16.71} = 57.10\%$$

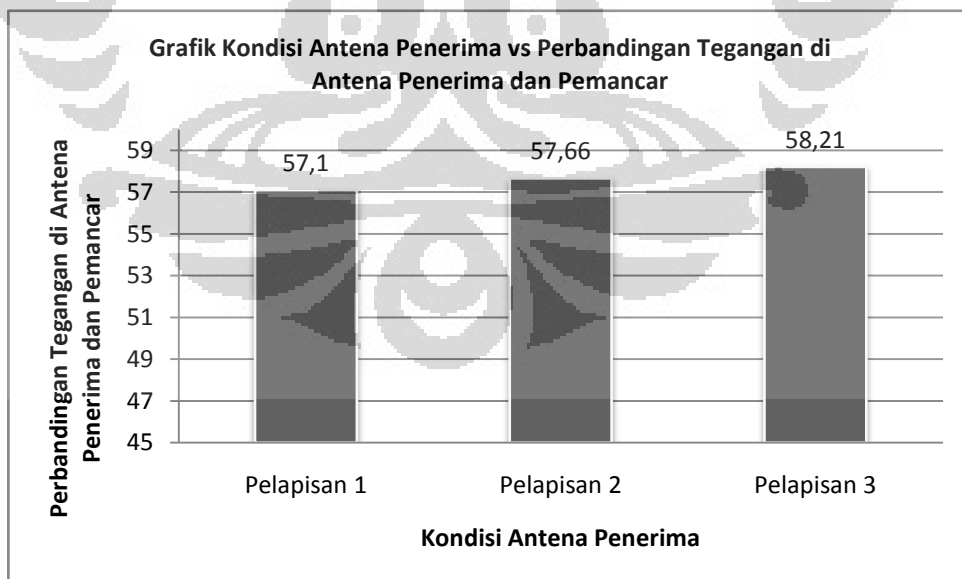
- Kondisi Pelapisan Nikel 2

$$\frac{V_{rms} \text{ penerima}}{V_{rms} \text{ pemancar}} = \frac{10.21}{17.70} = 57.66\%$$

- Kondisi Pelapisan Nikel 3

$$\frac{V_{rms} \text{ penerima}}{V_{rms} \text{ pemancar}} = \frac{10.82}{18.58} = 58.21\%$$

Jika digambarkan pada grafik kondisi ini akan terlihat sebagai berikut,



Gambar 4.11 Kondisi Antena Penerima vs Perbandingan Tegangan di Antena Penerima dan Pemancar pada Percobaan Penambahan Lapisan Elektroplating Nikel

4.3 Hasil Percobaan Pada Pelapisan Antena Tembaga dengan Lapisan Elektroplating Krom

Berikut adalah data yang diperoleh dari percobaan pada saat antena penerima belum diberi lapisan elektroplating krom:

Tabel 4.5 Data Hasil Percobaan Pengukuran Tebal Diameter Penampang, Parameter listrik (R,L,C), V rms, Frekuensi dan Efisiensi saat Antena Penerima Belum Diberi Lapisan Elektroplating

Percobaan ke-	Kondisi	Diameter penampang +Tebal lapisan (mm)			Antena pemancar			Antena Penerima			Vrms Peman car (V)	F Pemanca r (kHz)	Magnitud e Z (Ω)	P pema nca r (W)	V rms Penerima (V)	F penerima (kHz)	magnitud e Z (Ω)	P penerima (W)	Efisien si (%)
		titik 1	titik 2	titik 3	RL (Ω)	L (uH)	C(F)	RL (Ω)	L (uH)	C(F)									
1	Tembaga	6.38	6.38	6.41	0.004	0.8		0.002	0.8		20.50	765.00	3.85	109.24	11.10	763.30	3.84	32.10	29.38
2		6.38	6.39	6.41	0.003	0.8		0.002	0.8		16.30	766.00	3.85	68.97	9.06	764.50	3.84	21.35	30.96
3		6.38	6.39	6.41	0.005	0.8		0.002	0.8		19.90	764.00	3.84	103.08	8.97	760.40	3.82	21.04	20.41
4		6.38	6.38	6.41	0.005	0.8		0.002	0.8		16.30	763.00	3.84	69.25	11.60	762.10	3.83	35.11	50.71
5		6.38	6.39	6.41	0.004	0.8		0.002	0.8		19.80	761.00	3.83	102.44	9.84	765.30	3.85	25.16	24.56
6		6.38	6.39	6.41	0.004	0.8		0.002	0.8		19.30	764.00	3.84	96.95	8.50	759.20	3.82	18.92	19.52
7		6.38	6.39	6.41	0.004	0.8		0.002	0.8		19.53	759.00	3.82	99.93	9.34	767.30	3.86	22.61	22.62
8		6.38	6.39	6.41	0.004	0.8		0.002	0.8		20.20	766.00	3.85	105.93	11.30	763.20	3.84	33.27	31.41
9		6.38	6.39	6.41	0.004	0.8		0.002	0.8		17.90	761.00	3.83	83.73	10.20	763.40	3.84	27.10	32.37
10		6.38	6.39	6.41	0.004	0.8		0.002	0.8		19.30	768.00	3.86	96.45	11.40	766.30	3.85	33.73	34.97
rata2		6.38	6.38	6.41	0.004	0.8		0.002	0.8		18.90	763.70			10.13	763.50			29.69
Δ ketebalan Tembaga (mm)		0.39	0.41	0.4															
Rata2 Δ ketebalan Tembaga (mm)		0.40																	

Berikut adalah data yang diperoleh dari percobaan yang telah dilakukan pada saat antenna penerima diberi lapisan elektroplating krom untuk pertama kali:

Tabel 4.6 Data Hasil Percobaan Pengukuran Tebal Lapisan, Parameter listrik (R,L,C), V_{rms} , Frekuensi dan Efisiensi saat Antena Penerima diberi Lapisan Elektroplating Krom untuk Pertama Kali

Percobaan ke-	Kondisi	Diameter penampang +Tebal lapisan (mm)			Antena pemancar			Antena Penerima			V_{rms} Pemancar (V)	F Pemancar (kHz)	Magnitude Z (Ω)	P pemancar (W)	V_{rms} Penerima (V)	F penerima (kHz)	magnitude Z (Ω)	P penerima (W)	Efisiensi (%)
		titik 1	titik 2	titik 3	RL (Ω)	L (μ H)	C (F)	RL (Ω)	L (μ H)	C (F)									
1	pelapisan krom 1	6.38	6.39	6.41	0.004	0.8		0.003	0.8		16.70	766.00	3.85	72.40	9.43	766.10	3.85	23.08	31.88
2		6.38	6.39	6.41	0.003	0.8		0.003	0.7		18.40	769.00	3.87	87.55	9.15	757.60	3.81	21.98	25.10
3		6.38	6.39	6.41	0.005	0.8		0.002	0.7		21.00	769.00	3.87	114.04	8.29	765.30	3.85	17.86	15.66
4		6.38	6.39	6.41	0.005	0.8		0.002	0.7		14.90	757.00	3.81	58.32	8.89	757.60	3.81	20.74	35.56
5		6.38	6.39	6.41	0.004	0.8		0.002	0.7		17.20	759.00	3.82	77.51	10.20	766.20	3.85	27.00	34.84
6		6.38	6.39	6.41	0.004	0.8		0.002	0.7		16.90	758.00	3.81	74.93	9.13	759.00	3.82	21.84	29.15
7		6.38	6.39	6.41	0.004	0.8		0.002	0.7		16.10	757.00	3.81	68.09	8.80	756.40	3.80	20.36	29.90
8		6.38	6.39	6.41	0.004	0.8		0.003	0.7		16.50	759.00	3.82	71.33	9.49	763.90	3.84	23.44	32.87
9		6.38	6.39	6.41	0.004	0.8		0.003	0.7		18.30	769.00	3.87	86.60	7.95	757.60	3.81	16.59	19.16
10		6.38	6.39	6.41	0.004	0.8		0.002	0.8		15.90	757.00	3.81	66.41	9.97	761.70	3.83	25.95	39.08
rata2		6.38	6.39	6.41	0.004	0.8		0.002	0.7		17.19	762.00			9.13	761.14			29.32
Δ ketebalan (mm)		0	0.002	0															
Rata2 Δ ketebalan (mm)		0.0007																	

Berikut adalah data yang diperoleh dari percobaan yang telah dilakukan pada saat antenna penerima diberi lapisan elektroplating krom untuk kedua kali:

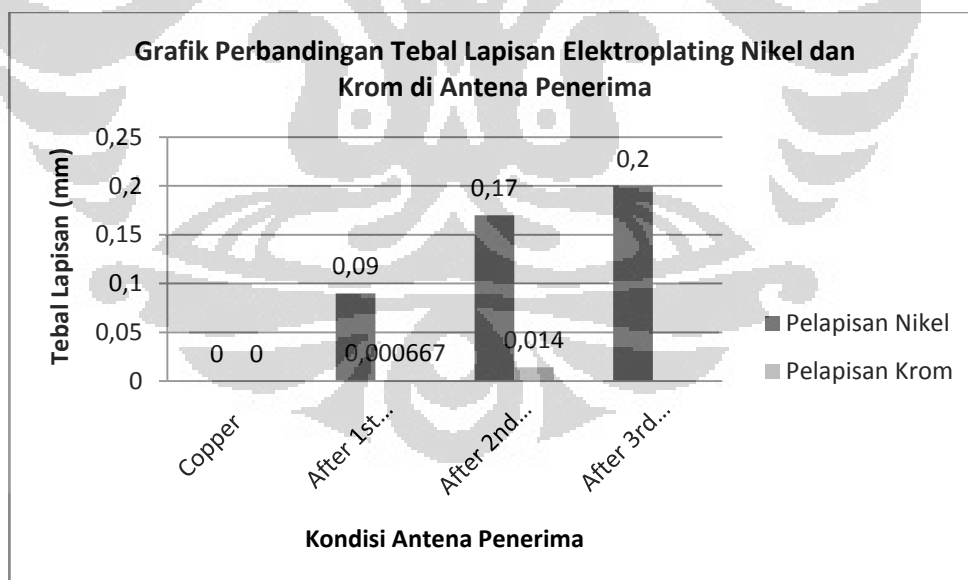
Tabel 4.7 Data Hasil Percobaan Pengukuran Tebal Lapisan, Parameter listrik (R,L,C), V rms, Frekuensi dan Efisiensi saat Antena Penerima diberi Lapisan Elektroplating Krom untuk Kedua Kali

Percobaan ke-	Kondisi	Diameter penampang +Tebal lapisan (mm)			Antena pemancar			Antena Penerima			Vrms Peman car (V)	F Pemanca r (kHz)	Magnitud e Z (Ω)	P pemanca r (W)	V rms Penerima (V)	F penerima (kHz)	magnitud e Z (Ω)	P penerima (W)	Efisien si (%)
		titik 1	titik 2	titik 3	RL (Ω)	L (u H)	C (F)	RL (Ω)	L (u H)	C (F)									
1	pelapisan krom 2	6.4	6.4	6.42	0.004	0.8		0.002	0.8		18.70	769.00	3.87	90.43	10.00	768.40	3.86	25.88	28.62
2		6.4	6.4	6.42	0.003	0.8		0.003	0.8		17.30	766.00	3.85	77.70	8.65	769.20	3.87	19.34	24.90
3		6.4	6.4	6.42	0.005	0.8		0.002	0.8		17.80	769.00	3.87	81.93	10.90	769.20	3.87	30.72	37.49
4		6.4	6.4	6.42	0.005	0.8		0.003	0.8		19.40	768.00	3.86	97.45	11.10	769.20	3.87	31.85	32.69
5		6.4	6.4	6.42	0.004	0.8		0.002	0.8		18.30	762.00	3.83	87.40	10.60	769.20	3.87	29.05	33.24
6		6.4	6.4	6.42	0.004	0.8		0.002	0.8		18.30	769.00	3.87	86.60	8.63	757.60	3.81	19.55	22.57
7		6.4	6.4	6.42	0.004	0.8		0.002	0.8		18.80	768.00	3.86	91.52	10.40	769.20	3.87	27.96	30.56
8		6.4	6.4	6.42	0.004	0.8		0.003	0.8		17.40	762.00	3.83	79.01	9.49	759.90	3.82	23.57	29.83
9		6.4	6.4	6.42	0.004	0.8		0.003	0.8		17.80	768.00	3.86	82.04	10.50	771.60	3.88	28.41	34.64
10		6.4	6.4	6.42	0.004	0.8		0.003	0.8		19.70	769.00	3.87	100.36	11.00	768.60	3.86	31.31	31.20
rata2		6.4	6.4	6.42	0.004	0.8		0.025	0.8			767.00				767.21			30.57
Δ ketebalan (mm)		0.02	0.012	0.01															
Rata2 Δ ketebalan (mm)		0.014																	

4.4 Analisis Hasil Percobaan Pada Pelapisan Antena Tembaga dengan Lapisan Elektroplating Krom

Dari ketiga data tentang pelapisan krom di atas, kita dapat menyimpulkan bahwa lapisan elektroplating krom pada antena penerima terlalu tipis sehingga kita tidak dapat melihat pengaruh adanya lapisan elektroplating terhadap variabel-variabel lain seperti: efisiensi, resistansi, dsb. Tipisnya lapisan krom ini disebabkan oleh sifat elektroplating krom yang tidak memungkinkan ketebalan elektroplating krom melebihi 0.025 mm sebelum lapisannya pecah, karena umumnya lapisan elektroplating krom hanya digunakan sebagai pelapis anti korosi saja. Lamanya waktu untuk melakukan elektroplating krom pada percobaan ini berkisar antara 75 menit, padahal pelapisan elektroplating krom jenis *hard chrome* hanya menghasilkan ketebalan 25 mikrometer per jamnya. Oleh karena sangat sulitnya ketebalan lapisan krom bertambah lagi, pelapisan elektroplating dengan lapisan krom dihentikan setelah mengalami dua kali pelapisan saja.

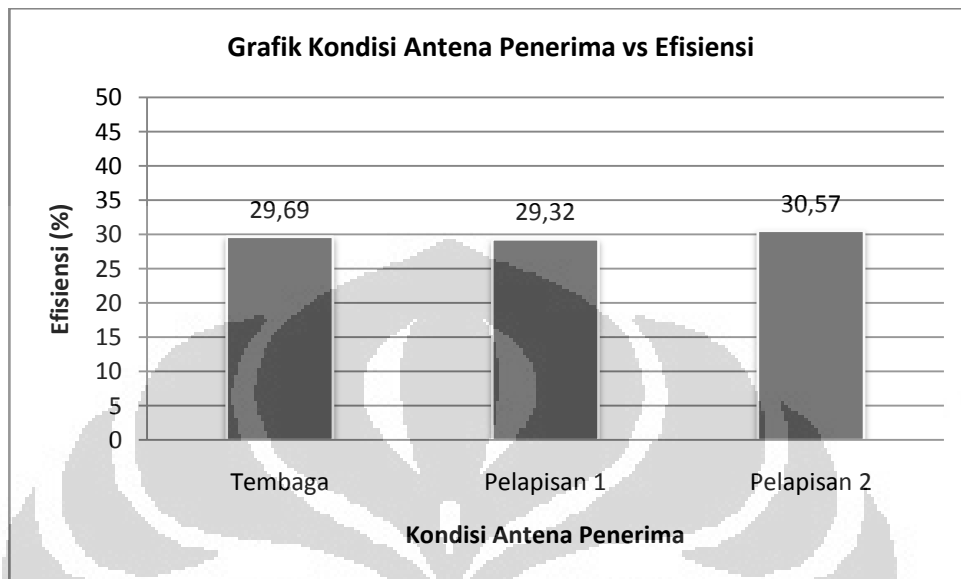
Adapun di bawah ini disajikan grafik perbandingan antara tebal lapisan krom dengan tebal lapisan nikel setelah proses elektroplating.



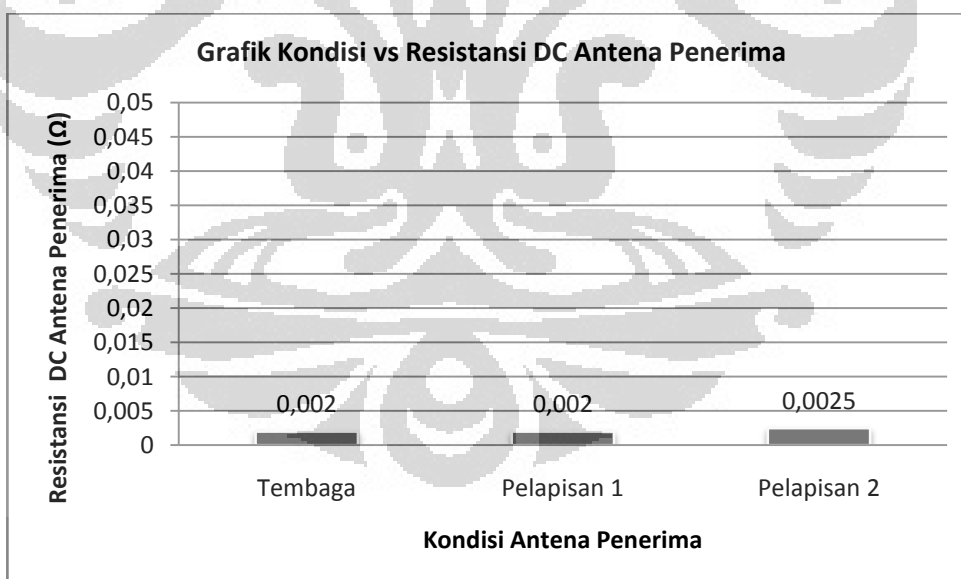
Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Tebal Lapisan Elektroplating Nikel dan Krom di Antena Penerima

Kondisi lapisan elektroplating krom yang terlalu tipis menyebabkan tidak adanya pengaruh terhadap variabel-variabel lainnya seperti efisiensi transfer

maupun resistansi DC, dibandingkan dengan kondisi pada saat antenna penerima belum diberi lapisan elektroplating. Hal ini ditunjukkan dengan grafik-grafik di bawah ini,



Gambar 4.13 Grafik Kondisi Antena Penerima terhadap Efisiensi pada Percobaan Penambahan Lapisan Elektroplating Krom



Gambar 4.14 Grafik Kondisi vs Resistansi Antena Penerima pada Percobaan Penambahan Lapisan Elektroplating Krom

5. KESIMPULAN

1. Penambahan lapisan elektroplating nikel menyebabkan efisiensi transfer daya listrik pada rangkaian WPT turun. Pada penambahan lapisan elektroplating nikel pertama efisiensi turun menjadi 33.38% dari (44.17%). Turunnya efisiensi transfer ini disebabkan oleh beberapa hal yaitu: bertambahnya resistansi dc (R_{dc}) antena penerima setelah diberi lapisan elektroplating yang mengakibatkan bertambahnya resistansi ac *skin effect* (R_{ac} *skin effect*) antena penerima setelah diberi lapisan elektroplating. Bertambahnya nilai resistansi ac *skin effect* ini akan secara langsung menyebabkan efisiensi transfer daya turun.
2. Penebalan lapisan elektroplating nikel (setelah pelapisan pertama) menyebabkan efisiensi transfer daya meningkat walaupun dengan besaran yang relatif kecil. Penambahan lapisan elektroplating nikel pertama menyebabkan efisiensi berubah menjadi 33.38% (dari 44.17% saat antena penerima belum diberi lapisan tembaga), penebalan lapisan elektroplating kedua menyebabkan efisiensi meningkat kecil menjadi 34.46%, dan penebalan lapisan elektroplating ketiga menyebabkan efisiensi meningkat kecil menjadi 35.01%. Meningkatnya efisiensi walaupun dengan besar yang relatif kecil setelah penebalan lapisan elektroplating disebabkan oleh meningkatnya medan magnetik yang diserap di antena penerima karena bertambah tebalnya *magnetic shield* pada antena penerima.
3. Penambahan lapisan elektroplating krom tidak memberikan perubahan yang signifikan terhadap efisiensi transfer daya listrik dan resistansi DC antena penerima karena terlalu tipisnya lapisan elektroplating krom. Efisiensi transfer daya listrik penerima relatif tidak berubah dari 29.69% pada saat antena penerima belum dilapisi, menjadi 29.52% dan 30.57% pada saat penambahan lapisan elektroplating krom pertama dan kedua. Tipisnya elektroplating krom disebabkan oleh sifat elektroplating krom yang tebalnya tidak mungkin melebihi 0,025 mm dan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk meningkatkan ketebalan lapisan elektroplating.

DAFTAR PUSTAKA

- (n.d.). http://www.rowantechnology.com/images/Chrome_plating_pollution_sources.JPG
- (2010). Retrieved October 2010, from University of Cambridge -Programme for Sustainability Leadership-: <http://www.cpsl.co.za/>
- A 1kW Royer Induction Heater.* (2010, February). Retrieved June 2011, from Neon John: http://www.neon-john.net/Induction/Roy/Roy_old.htm
- Akuan, A. (2010). *Peralatan Proses Elektrolating*. Bandung: Teknik Metalurgi Unjani.
- as. (2010). as. de.
- Chrome Plating.* (2011). Retrieved June 2011, from Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Chrome_plating
- Chrome Plating Alternatives.* (2009, November 2). Retrieved June 2011, from Rowan technology: <http://www.rowantechnology.com/Tech-Info.htm>
- Conductor Bulk Resistivity & Skin Depths.* (n.d.). Retrieved June 2011, from RF Cafe: <http://www.rfcafe.com/references/electrical/cond-high-freq.htm>
- Hadley, F. (2007, June). *Goodbye Wires.* Retrieved October 2010, from MIT News: <http://web.mit.edu/newsoffice/2007/wireless-0607.html>
- Jewett, S. (2004). Physics for Scientist and Engineers. In S. Jewett, *Physics for Scientist and Engineers* (p. 940). California: Thomson Brooks.
- Johnson, D. E., Johnson, J. R., Hilburn, J. L., & Scott, P. D. (1997). Complex Numbers. In J. R. David E. Johnson, *Electric Circuit Analysis* (pp. 803-806). New York: John Wiley & Sons.
- Karalis, A., Joannopoulos, J., & Soljacic, M. (2008). Efficient Wireless Non-radiative Mid-range Energy Transfer. *Annals of Physics* 323 , 34-48.
- Magnetic Flux.* (2011, May). Retrieved May 2011, from Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_flux
- Magnetic Properties of Materials.* (n.d.). Retrieved May 2011, from University of Surrey -TSU Advisor-: <http://info.ee.surrey.ac.uk/Workshop/advice/coils/mu/>
- Nickel Electroplating.* (2011, May). Retrieved June 2011, from Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel_electroplating

- Nilsson, J. W., & A.Riedel, S. (1996). *Electric Circuits Fifth Edition*. Iowa: Addison Wesley.
- Pai, R. S. (2001, May). *Nickel Electroplating SOP*. Retrieved June 2011, from University of Louisville: <http://louisville.edu/advising/cleanroom/sops/sops/nickel-electroplating-sop/n1.gif>
- Sadiku, M. N. (2001). *Elements of Electromagnetics*. Oxford: Oxford University Press.
- Sample, A. P., Meyer, D. R., & Smith, J. T. (2010). Analysis, Experimental Results, and Range Adaptation of Magnetically Coupled Resonators for Wireless Power Transfer. *IEEE*.
- Terman, F. E. (1943). Radio Engineers Handbook. In F. E. Terman, *Radio Engineers Handbook* (pp. 26-37). Cambridge: Mc-Graw Hill Book Company.
- Ullrich, S., Mokwa, W., & Schnakenberg. (2002). Micro Coils For Improved Power Transfer in Telemetry System. *2nd Annual International IEEE-EMBS Special Topic Conference on Microtechnologies in Medicine & Biology*, 106-109.
- Unit Pelaksana Pendidikan Ilmu Pengetahuan Dasar Universitas Indonesia. (2008). *Pedoman Praktikum Fisika Dasar*. Depok: UPP IPD Universitas Indonesia.

**LAMPIRAN 1. DATA PERHITUNGAN IMPEDANSI DI ANTENA PEMANCAR
(PERCOBAAN LAPISAN ELEKTROPLATING NIKEL)**

Diameter
Penampang (d) =
0.641 cm
Tebal antenna (t)
= 0.04 cm
Panjang Antena
(l) = 103 cm

Kondisi	Percobaan ke-	Pemancar														
		f (kHz)	L (uH)	XL (Ω)	Rdc L (Ω)	C(nF)	Xc (Ω)	Rac C (MΩ)	Rac//Xc	t/d	√f/Rdc	Rac Skin Effect	R High Freq	R dc L+R ac SE+R HF+jXL	Z	Magnitudo Z
Tembaga	1	771.00	0.8	3.88	0.004	54.40	-3.79308072716175i	0.255	255000-3.79308072716175i	0.06	807.06	0.0148	0.0117	0.030538962371052+3.87702857142857i	0.030597905179042+3.87702764277846i	3.88
	2	755.00	0.8	3.80	0.003	54.40	-3.87346389488968i	0.255	255000-3.87346389488968i	0.06	798.65	0.0148	0.0116	0.0304165187378521+3.79657142857143i	0.0304730404154916+3.79657052287496i	3.80
	3	750.00	0.8	3.77	0.005	54.40	-3.89928698752228i	0.255	255000-3.89928698752228i	0.06	796.00	0.0148	0.0116	0.0303779895480049+3.77142857142857i	0.0304337650345448+3.77142767288081i	3.77
	4	757.00	0.8	3.81	0.005	54.40	-3.86323017257822i	0.255	255000-3.86323017257822i	0.06	799.70	0.0148	0.0116	0.0304318946793775+3.80662857142857i	0.0304887162217415+3.80662766286937i	3.81
	5	757.00	0.8	3.81	0.004	54.40	-3.86323017257822i	0.255	255000-3.86323017257822i	0.06	799.70	0.0148	0.0116	0.0304318946793775+3.80662857142857i	0.0304887162217415+3.80662766286937i	3.81
	6	750.00	0.8	3.77	0.004	54.40	-3.89928698752228i	0.255	255000-3.89928698752228i	0.06	796.00	0.0148	0.0116	0.0303779895480049+3.77142857142857i	0.0304337650345448+3.77142767288081i	3.77
	7	745.00	0.8	3.75	0.004	54.40	-3.92545669884793i	0.255	255000-3.92545669884793i	0.06	793.34	0.0148	0.0115	0.0303393317120426+3.74628571428571i	0.0303943659656426+3.74628482287503i	3.75
	8	741.00	0.8	3.73	0.004	54.40	-3.94664674850433i	0.255	255000-3.94664674850433i	0.06	791.21	0.0148	0.0115	0.0303083119470244+3.72617142857143i	0.0303627567841478+3.72617054286201i	3.73
	9	749.00	0.8	3.77	0.004	54.40	-3.90449297815983i	0.255	255000-3.90449297815983i	0.06	795.47	0.0148	0.0116	0.030370268313703+3.7664i	0.0304258951570022+3.7663991028806i	3.77
	10	740.00	0.8	3.72	0.004	54.40	-3.95198005492123i	0.255	255000-3.95198005492123i	0.06	790.67	0.0148	0.0115	0.0303005439326753+3.72114285714286i	0.0303548419114956+3.72114197285759i	3.72

LAMPIRAN 1. (LANJUTAN)

Diameter
 Penampang (d) =
 0.641 cm
 Tebal antena (t)
 = 0.04 cm
 Panjang Antena
 (l) = 103 cm

Kondisi	Percobaan ke-	Pemancar														
		f (kHz)	L (uH)	XL (Ω)	Rdc L (Ω)	C(nF)	Xc (Ω)	Rac C (MΩ)	Rac//Xc	t/d	√f/Rdc	Rac Skin Effect	R High Freq	R dc L+R ac SE+R HF+jXL	Z	Magnitudo Z
Pelapisan Nikel I	1	756.00	0.8	3.80	0.004	54.40	-3.86834026539909i	0.255	255000-3.86834026539909i	0.06	799.18	0.0148	0.0116	0.030424209250934+3.8016i	0.0304808807617726+3.8015990928724i	3.80
	2	759.00	0.8	3.82	0.003	54.40	-3.85305038292716i	0.255	255000-3.85305038292716i	0.06	800.76	0.0148	0.0116	0.0304472503226038+3.81668571428571i	0.030504372522998+3.81668480286193i	3.82
	3	762.00	0.8	3.83	0.005	54.40	-3.83788089323059i	0.255	255000-3.83788089323059i	0.06	802.34	0.0148	0.0117	0.0304702459033771+3.83177142857143i	0.0305278205782642+3.83177051284729i	3.83
	4	762.00	0.8	3.83	0.005	54.40	-3.83788089323059i	0.255	255000-3.83788089323059i	0.06	802.34	0.0148	0.0117	0.0304702459033771+3.83177142857143i	0.0305278205782642+3.83177051284729i	3.83
	5	757.00	0.8	3.81	0.004	54.40	-3.86323017257822i	0.255	255000-3.86323017257822i	0.06	799.70	0.0148	0.0116	0.0304318946793775+3.80662857142857i	0.0304887162217415+3.80662766286937i	3.81
	6	755.00	0.8	3.80	0.004	54.40	-3.87346389488968i	0.255	255000-3.87346389488968i	0.06	798.65	0.0148	0.0116	0.0304165187378521+3.79657142857143i	0.0304730404154916+3.79657052287496i	3.80
	7	762.00	0.8	3.83	0.004	54.40	-3.83788089323059i	0.255	255000-3.83788089323059i	0.06	802.34	0.0148	0.0117	0.0304702459033771+3.83177142857143i	0.0305278205782642+3.83177051284729i	3.83
	8	758.00	0.8	3.81	0.004	54.40	-3.85813356285186i	0.255	255000-3.85813356285186i	0.06	800.23	0.0148	0.0116	0.0304395750332546+3.81165714285714i	0.0304965468054705+3.81165623286588i	3.81
	9	757.00	0.8	3.81	0.004	54.40	-3.86323017257822i	0.255	255000-3.86323017257822i	0.06	799.70	0.0148	0.0116	0.0304318946793775+3.80662857142857i	0.0304887162217415+3.80662766286937i	3.81
	10	757.00	0.8	3.81	0.004	54.40	-3.86323017257822i	0.255	255000-3.86323017257822i	0.06	799.70	0.0148	0.0116	0.0304318946793775+3.80662857142857i	0.0304887162217415+3.80662766286937i	3.81

LAMPIRAN 1. (LANJUTAN)

Diameter
 Penampang (d) =
 0.641 cm
 Tebal antenna (t)
 = 0.04 cm
 Panjang Antena
 (l) = 103 cm

Kon disisi	Percobaan ke-	Pemancar														Magnitudo Z
		f (kHz)	L (uH)	XL (Ω)	Rdc L (Ω)	C(nF)	Xc (Ω)	Rac C (MΩ)	Rac//Xc	t/d	√f/Rdc	Rac Skin Effect	R High Freq	R dc L+R ac SE+R HF+jXL	Z	
Pelapisan Nikel 2	1	750.00	0.8	3.77	0.004	54.40	-3.89928698752228i	0.255	255000-3.89928698752228i	0.06	796.00	0.0148	0.0116	0.0303779895480049+3.77142857142857i	0.0304337650345448+3.77142767288081i	3.77
	2	739.00	0.8	3.72	0.003	54.40	-3.95732779518499i	0.255	255000-3.95732779518499i	0.06	790.14	0.0148	0.0115	0.0302927706678922+3.71611428571429i	0.0303469219867357+3.71611340285269i	3.72
	3	763.00	0.8	3.84	0.005	54.40	-3.83285090516607i	0.255	255000-3.83285090516607i	0.06	802.87	0.0148	0.0117	0.0304779010343435+3.8368i	0.0305356269307143+3.83679908284148i	3.84
	4	765.00	0.8	3.85	0.005	54.40	-3.82283037992381i	0.255	255000-3.82283037992381i	0.06	803.92	0.0148	0.0117	0.030493196261638+3.84685714285714i	0.0305512251959554+3.84685622282849i	3.85
	5	761.00	0.8	3.83	0.004	54.40	-3.84292410071184i	0.255	255000-3.84292410071184i	0.06	801.81	0.0148	0.0117	0.0304625857477087+3.82674285714286i	0.0305200093994384+3.82674194285263i	3.83
	6	758.00	0.8	3.81	0.004	54.40	-3.85813356285186i	0.255	255000-3.85813356285186i	0.06	800.23	0.0148	0.0116	0.0304395750332546+3.81165714285714i	0.0304965468054705+3.81165623286588i	3.81
	7	764.00	0.8	3.84	0.004	54.40	-3.82783408460957i	0.255	255000-3.82783408460957i	0.06	803.39	0.0148	0.0117	0.0304855511504829+3.84182857142857i	0.0305434284666639+3.84182765283522i	3.84
	8	761.00	0.8	3.83	0.004	54.40	-3.84292410071184i	0.255	255000-3.84292410071184i	0.06	801.81	0.0148	0.0117	0.0304625857477087+3.82674285714286i	0.0305200093994384+3.82674194285263i	3.83
	9	765.00	0.8	3.85	0.004	54.40	-3.82283037992381i	0.255	255000-3.82283037992381i	0.06	803.92	0.0148	0.0117	0.030493196261638+3.84685714285714i	0.0305512251959554+3.84685622282849i	3.85
	10	761.00	0.8	3.83	0.004	54.40	-3.84292410071184i	0.255	255000-3.84292410071184i	0.06	801.81	0.0148	0.0117	0.0304625857477087+3.82674285714286i	0.0305200093994384+3.82674194285263i	3.83

LAMPIRAN 1. (LANJUTAN)

Diameter
 Penampang (d) =
 0.641 cm
 Tebal antena (t)
 = 0.04 cm
 Panjang Antena
 (l) = 103 cm

Kon disisi	Percobaan ke-	Pemancar														
		f (kHz)	L (uH)	XL (Ω)	Rdc L (Ω)	C(nF)	Xc (Ω)	Rac C (MΩ)	Rac//Xc	t/d	$\sqrt{f/Rdc}$	Rac Skin Effect	R High Freq	R dc L+R ac SE+R HF+jXL	Z	Magnitudo Z
Pelapisan Nikel 3	1	759.00	0.8	3.82	0.004	54.40	-3.85305038292716i	0.255	255000-3.85305038292716i	0.06	800.76	0.0148	0.0116	0.0304472503226038+3.81668571428571i	0.030504372522998+3.81668480286193i	3.82
	2	764.00	0.8	3.84	0.003	54.40	-3.82783408460957i	0.255	255000-3.82783408460957i	0.06	803.39	0.0148	0.0117	0.0304855511504829+3.84182857142857i	0.0305434284666639+3.84182765283522i	3.84
	3	768.00	0.8	3.86	0.005	54.40	-3.80789744875223i	0.255	255000-3.80789744875223i	0.06	805.49	0.0148	0.0117	0.030516101663142+3.86194285714286i	0.030574586641827+3.86194193280555i	3.86
	4	769.00	0.8	3.87	0.005	54.40	-3.80294569654319i	0.255	255000-3.80294569654319i	0.06	806.02	0.0148	0.0117	0.0305237268521452+3.86697142857143i	0.0305823642422722+3.86697050279698i	3.87
	5	769.00	0.8	3.87	0.004	54.40	-3.80294569654319i	0.255	255000-3.80294569654319i	0.06	806.02	0.0148	0.0117	0.0305237268521452+3.86697142857143i	0.0305823642422722+3.86697050279698i	3.87
	6	761.00	0.8	3.83	0.004	54.40	-3.84292410071184i	0.255	255000-3.84292410071184i	0.06	801.81	0.0148	0.0117	0.0304625857477087+3.82674285714286i	0.0305200093994384+3.82674194285263i	3.83
	7	769.00	0.8	3.87	0.004	54.40	-3.80294569654319i	0.255	255000-3.80294569654319i	0.06	806.02	0.0148	0.0117	0.0305237268521452+3.86697142857143i	0.0305823642422722+3.86697050279698i	3.87
	8	769.00	0.8	3.87	0.004	54.40	-3.80294569654319i	0.255	255000-3.80294569654319i	0.06	806.02	0.0148	0.0117	0.0305237268521452+3.86697142857143i	0.0305823642422722+3.86697050279698i	3.87
	9	766.00	0.8	3.85	0.004	54.40	-3.81783973974114i	0.255	255000-3.81783973974114i	0.06	804.44	0.0148	0.0117	0.0305008363776192+3.85188571428571i	0.0305590171283995+3.85188479282131i	3.85
	10	765.00	0.8	3.85	0.004	54.40	-3.82283037992381i	0.255	255000-3.82283037992381i	0.06	803.92	0.0148	0.0117	0.030493196261638+3.84685714285714i	0.0305512251959554+3.84685622282849i	3.85

**LAMPIRAN 2. DATA PERHITUNGAN IMPEDANSI DI ANTENA PENERIMA
(PERCOBAAN LAPISAN ELEKTROPLATING NIKEL)**

Diameter
Penampang (d) =
0.643 cm
Tebal antenna (t)
= 0.04 cm
Panjang Antena
(l) = 95.6 cm

Kondisi	Percobaan ke-	Penerima														
		f (kHz)	L (uH)	XL (Ω)	Rdc L (Ω)	C(nF)	Xc (Ω)	Rac C (MΩ)	Rac//Xc	t/d	√f/Rdc	Rac Skin Effect	R High Freq	R dc L+R ac SE+R HF+jXL	Z	Magnitudo Z
Tembaga	1	759.80	0.8	3.82	0.002	27.20	-7.69798694562177i	0.51	510000-7.69798694562177i	0.06	1091.58	0.012	0.0108	0.0247825105128643+3.82070857142857i	0.0248111324747163+3.8207082003256i	3.82
	2	759.50	0.8	3.82	0.002	27.20	-7.7010276251263i	0.51	510000-7.7010276251263i	0.06	1091.37	0.012	0.0108	0.0247803816154439+3.8192i	0.0248089809787848+3.81919962907561i	3.82
	3	758.30	0.8	3.81	0.002	27.20	-7.7132144023255i	0.51	510000-7.7132144023255i	0.06	1090.50	0.012	0.0108	0.0247718618183158+3.8131657142857i	0.024800370876859+3.81316534407545i	3.81
	4	757.60	0.8	3.81	0.002	27.20	-7.72034118437622i	0.51	510000-7.72034118437622i	0.06	1090.00	0.012	0.0108	0.0247668888233119+3.8096457142857i	0.0247953452700002+3.80964534449188i	3.81
	5	761.40	0.8	3.83	0.002	27.20	-7.68181045611167i	0.51	510000-7.68181045611167i	0.06	1092.73	0.012	0.0108	0.0247938575410111+3.82875428571429i	0.0248226001789834+3.82875391365855i	3.83
	6	758.90	0.8	3.82	0.002	27.20	-7.70711619618319i	0.51	510000-7.70711619618319i	0.06	1090.93	0.012	0.0108	0.0247761225588681+3.81618285714286i	0.0248046767519608+3.81618248657556i	3.82
	7	738.90	0.8	3.72	0.002	27.20	-7.9157267306583i	0.51	510000-7.9157267306583i	0.06	1076.46	0.012	0.0106	0.0246331778743968+3.71561142857143i	0.0246602468201506+3.71561106986371i	3.72
	8	743.30	0.8	3.74	0.002	27.20	-7.86886920662374i	0.51	510000-7.86886920662374i	0.06	1079.66	0.012	0.0107	0.0246647900945823+3.73773714285714i	0.024692182391473+3.73773678154765i	3.74
	9	746.30	0.8	3.75	0.002	27.20	-7.83723768093719i	0.51	510000-7.83723768093719i	0.06	1081.84	0.012	0.0107	0.024686290264436+3.75282285714286i	0.0247139041287212+3.75282249405706i	3.75
	10	744.40	0.8	3.74	0.002	27.20	-7.85724137732862i	0.51	510000-7.85724137732862i	0.06	1080.46	0.012	0.0107	0.0246726785192255+3.74326857142857i	0.0247001519538688+3.743268209468i	3.74

LAMPIRAN 2. (LANJUTAN)

Diameter
 Penampang (d) =
 0.652 cm
 Tebal antena (t)
 = 0.049 cm
 Panjang Antena
 (l) = 95.6 cm

Kondisi	Percobaan ke-	Penerima														
		f (kHz)	L (uH)	XL (Ω)	Rdc L (Ω)	C(nF)	Xc (Ω)	Rac C (MΩ)	Rac//Xc	t/d	√f/Rdc	Rac Skin Effect	R High Freq	R dc L+R ac SE+R HF+jXL	Z	Magnitudo Z
Pelapisan Nikel 1	1	759.50	0.8	3.82	0.004	27.20	-7.7010276251263i	0.51	510000-7.7010276251263i	0.08	771.71	0.0168	0.0106	0.0314315726667644+3.8192i	0.0314601712973994+3.81919952945903i	3.82
	2	762.70	0.8	3.84	0.004	27.20	-7.66871703328101i	0.51	510000-7.66871703328101i	0.08	773.34	0.0168	0.0107	0.0314539461181395+3.83529142857143i	0.0314827862591138+3.83529095570962i	3.84
	3	763.90	0.8	3.84	0.003	27.20	-7.65667035120228i	0.51	510000-7.65667035120228i	0.08	773.94	0.0168	0.0107	0.0314623240587144+3.84132571428571i	0.0314912550278567+3.84132524055302i	3.84
	4	764.70	0.8	3.85	0.005	27.20	-7.64866023444936i	0.51	510000-7.64866023444936i	0.08	774.35	0.0168	0.0107	0.031467905697133+3.84534857142857i	0.031496897297718+3.84534809711513i	3.85
	5	759.00	0.8	3.82	0.003	27.20	-7.70610076585431i	0.51	510000-7.70610076585431i	0.08	771.46	0.0168	0.0106	0.0314280725604418+3.81668571428571i	0.0314566335468123+3.81668524410718i	3.82
	6	753.80	0.8	3.79	0.004	27.20	-7.75926038907326i	0.51	510000-7.75926038907326i	0.08	768.81	0.0168	0.0106	0.0313916028888827+3.79053714285714i	0.0314197738445012+3.79053667644487i	3.79
	7	759.50	0.8	3.82	0.003	27.20	-7.7010276251263i	0.51	510000-7.7010276251263i	0.08	771.71	0.0168	0.0106	0.0314315726667644+3.8192i	0.0314601712973994+3.81919952945903i	3.82
	8	761.40	0.8	3.83	0.003	27.20	-7.68181045611167i	0.51	510000-7.68181045611167i	0.08	772.68	0.0168	0.0106	0.0314448625749542+3.82875428571429i	0.0314736044798866+3.82875381379556i	3.83
	9	754.70	0.8	3.80	0.003	27.20	-7.75000726286395i	0.51	510000-7.75000726286395i	0.08	769.27	0.0168	0.0106	0.0313979239282703+3.79506285714286i	0.0314261621973303+3.79506239007915i	3.80
	10	757.60	0.8	3.81	0.004	27.20	-7.72034118437622i	0.51	510000-7.72034118437622i	0.08	770.75	0.0168	0.0106	0.0314182661248306+3.80964571428571i	0.0314467218391476+3.80964524512174i	3.81

LAMPIRAN 2. (LANJUTAN)

Diameter

Penampang (d) =

0.660 cm

Tebal antenna (t)

= 0.057 cm

Panjang Antena

(l) = 95.6 cm

Kondisi	Percobaan ke-	Penerima														
		f (kHz)	L (uH)	XL (Ω)	Rdc L (Ω)	C(nF)	Xc (Ω)	Rac C (MΩ)	Rac//Xc	t/d	√f/Rdc	Rac Skin Effect	R High Freq	R dc L+R ac SE+R HF+jXL	Z	Magnitudo Z
Pelapisan Nikel 2	1	761.40	0.8	3.83	0.004	27.20	-7.68181045611167i	0.51	510000-7.68181045611167i	0.09	772.68	0.017	0.0011	0.0220515833937682+3.82875428571429i	0.0220803262834725+3.82875395483304i	3.83
	2	756.20	0.8	3.80	0.005	27.20	-7.73463433123965i	0.51	510000-7.73463433123965i	0.09	770.03	0.017	0.001	0.0220479863343876+3.80260571428571i	0.0220763379515866+3.80260538572079i	3.80
	3	761.40	0.8	3.83	0.003	27.20	-7.68181045611167i	0.51	510000-7.68181045611167i	0.09	772.68	0.017	0.0011	0.0220515833937682+3.82875428571429i	0.0220803262834725+3.82875395483304i	3.83
	4	762.50	0.8	3.83	0.004	27.20	-7.67072850004383i	0.51	510000-7.67072850004383i	0.09	773.23	0.017	0.0011	0.0220523427346182+3.83428571428571i	0.0220811687371056+3.8342853829144i	3.83
	5	759.50	0.8	3.82	0.005	27.20	-7.7010276251263i	0.51	510000-7.7010276251263i	0.09	771.71	0.017	0.0011	0.0220502705119289+3.8192i	0.0220788701258035+3.81919966996518i	3.82
	6	763.40	0.8	3.84	0.004	27.20	-7.6616851994805i	0.51	510000-7.6616851994805i	0.09	773.69	0.017	0.0011	0.0220529636061929+3.83881142857143i	0.022081857699295+3.83881109679912i	3.84
	7	760.20	0.8	3.82	0.004	27.20	-7.6939364394678i	0.51	510000-7.6939364394678i	0.09	772.07	0.017	0.0011	0.0220507543960881+3.82272i	0.0220794067541463+3.82271966965336i	3.82
	8	765.90	0.8	3.85	0.003	27.20	-7.6366764346304i	0.51	510000-7.6366764346304i	0.09	774.96	0.017	0.0011	0.0220546863317422+3.85138285714286i	0.0220837699868829+3.85138252425663i	3.85
	9	766.30	0.8	3.85	0.003	27.20	-7.632690175236i	0.51	510000-7.632690175236i	0.09	775.16	0.017	0.0011	0.0220549617067682+3.85339428571428i	0.0220840757493496+3.85339395264978i	3.85
	10	757.90	0.8	3.81	0.003	27.20	-7.71728523721259i	0.51	510000-7.71728523721259i	0.09	770.90	0.017	0.001	0.0220491636529604+3.811115428571429i	0.0220776428911611+3.811115395639217i	3.81

LAMPIRAN 2. (LANJUTAN)

Diameter
 Penampang (d) =
 0.663 cm
 Tebal antenna (t)
 = 0.06 cm
 Panjang Antena
 (l) = 95.6 cm

Kon disi	Perc obaa n ke-	Penerima														
		f (kHz)	L (uH)	XL (Ω)	Rdc L (Ω)	C(nF)	Xc (Ω)	Rac C (MΩ)	Rac//Xc	t/d	√f/Rdc	Rac Skin Effect	R High Freq	R dc L+R ac SE+R HF+jXL	Z	Mag nitud e Z
Pelapisan Nikel 3	1	763.70	0.8	3.84	0.005	27.20	-7.65867550253165i	0.51	510000-7.65867550253165i	0.09	773.84	0.0172	0.001	0.0222484050047523+3.84032i	0.0222773217956271+3.8403196651538i	3.84
	2	763.10	0.8	3.84	0.004	27.20	-7.66469726285339i	0.51	510000-7.66469726285339i	0.09	773.54	0.0172	0.001	0.0222479930847555+3.83730285714286i	0.0222768644551133+3.83730252256627i	3.84
	3	767.50	0.8	3.86	0.004	27.20	-7.62075632740511i	0.51	510000-7.62075632740511i	0.09	775.77	0.0172	0.0011	0.0222510100823433+3.85942857142857i	0.0222802153654935+3.85942823487462i	3.86
	4	769.20	0.8	3.87	0.004	27.20	-7.60391378221974i	0.51	510000-7.60391378221974i	0.09	776.62	0.0172	0.0011	0.0222521734236116+3.86797714285714i	0.022281508232682+3.86797680553911i	3.87
	5	760.70	0.8	3.83	0.003	27.20	-7.68887929707299i	0.51	510000-7.68887929707299i	0.09	772.32	0.0172	0.001	0.0222463437831411+3.82523428571429i	0.0222750338284176+3.82523395221606i	3.83
	6	769.00	0.8	3.87	0.003	27.20	-7.60589139308638i	0.51	510000-7.60589139308638i	0.09	776.52	0.0172	0.0011	0.0222520366267023+3.86697142857143i	0.0222813561825547+3.8669710913433i	3.87
	7	761.40	0.8	3.83	0.004	27.20	-7.68181045611167i	0.51	510000-7.68181045611167i	0.09	772.68	0.0172	0.001	0.0222468250978688+3.82875428571429i	0.0222755679706255+3.82875395190154i	3.83
	8	772.20	0.8	3.88	0.004	27.20	-7.57437254763458i	0.51	510000-7.57437254763458i	0.09	778.14	0.0172	0.0011	0.0222542232471475+3.88306285714286i	0.0222837873304696+3.88306251847628i	3.88
	9	767.60	0.8	3.86	0.004	27.20	-7.61976352434005i	0.51	510000-7.61976352434005i	0.09	775.82	0.0172	0.0011	0.0222510785498253+3.85993142857143i	0.0222802914442142+3.85993109197254i	3.86
	10	765.30	0.8	3.85	0.004	27.20	-7.64266363685277i	0.51	510000-7.64266363685277i	0.09	774.65	0.0172	0.001	0.0222495026676675+3.84836571428571i	0.0222785407544472+3.8483653787205i	3.85

**LAMPIRAN 3. DATA PERHITUNGAN IMPEDANSI DI ANTENA PEMANCAR
(PERCOBAAN LAPISAN ELEKTROPLATING KROM)**

Diameter

Penampang (d) =
0.641 cm

Tebal antenna (t)
= 0.04 cm

Panjang Antena
(l) = 103 cm

Kondisi	Perobaan ke-	Pemancar														
		f (kHz)	L (uH)	XL (Ω)	Rdc L (Ω)	C(nF)	Xc (Ω)	Rac C (MΩ)	Rac//Xc	t/d	√f/Rdc	Rac Skin Effect	R High Freq	R dc L+R ac SE+R HF+jXL	Z	Mag nitud e Z
Tembaga	1	765.00	0.8	3.85	0.004	54.40	-3.82283037992381i	0.255	255000-3.82283037992381i	0.06	803.92	0.0148	0.0117	0.030493196261638+3.84685714285714i	0.0305512251959554+3.84685622282849i	3.85
	2	766.00	0.8	3.85	0.003	54.40	-3.81783973974114i	0.255	255000-3.81783973974114i	0.06	804.44	0.0148	0.0117	0.0305008363776192+3.85188571428571i	0.0305590171283995+3.85188479282131i	3.85
	3	764.00	0.8	3.84	0.005	54.40	-3.82783408460957i	0.255	255000-3.82783408460957i	0.06	803.39	0.0148	0.0117	0.0304855511504829+3.84182857142857i	0.0305434284666639+3.84182765283522i	3.84
	4	763.00	0.8	3.84	0.005	54.40	-3.83285090516607i	0.255	255000-3.83285090516607i	0.06	802.87	0.0148	0.0117	0.0304779010343435+3.8368i	0.0305356269307143+3.83679908284148i	3.84
	5	761.00	0.8	3.83	0.004	54.40	-3.84292410071184i	0.255	255000-3.84292410071184i	0.06	801.81	0.0148	0.0117	0.0304625857477087+3.82674285714286i	0.0305200093994384+3.82674194285263i	3.83
	6	764.00	0.8	3.84	0.004	54.40	-3.82783408460957i	0.255	255000-3.82783408460957i	0.06	803.39	0.0148	0.0117	0.0304855511504829+3.84182857142857i	0.0305434284666639+3.84182765283522i	3.84
	7	759.00	0.8	3.82	0.004	54.40	-3.85305038292716i	0.255	255000-3.85305038292716i	0.06	800.76	0.0148	0.0116	0.0304472503226038+3.81668571428571i	0.030504372522998+3.81668480286193i	3.82
	8	766.00	0.8	3.85	0.004	54.40	-3.81783973974114i	0.255	255000-3.81783973974114i	0.06	804.44	0.0148	0.0117	0.0305008363776192+3.85188571428571i	0.0305590171283995+3.85188479282131i	3.85
	9	761.00	0.8	3.83	0.004	54.40	-3.84292410071184i	0.255	255000-3.84292410071184i	0.06	801.81	0.0148	0.0117	0.0304625857477087+3.82674285714286i	0.0305200093994384+3.82674194285263i	3.83
	10	768.00	0.8	3.86	0.004	54.40	-3.80789744875223i	0.255	255000-3.80789744875223i	0.06	805.49	0.0148	0.0117	0.030516101663142+3.86194285714286i	0.030574586641827+3.86194193280555i	3.86

LAMPIRAN 3. (LANJUTAN)

Diameter
 Penampang (d) =
 0.641 cm
 Tebal antenna (t)
 = 0.04 cm
 Panjang Antena
 (l) = 103 cm

Kondisi	Percobaan ke-	Pemancar														Magnitudo Z
		f (kHz)	L (uH)	XL (Ω)	Rdc L (Ω)	C (nF)	Xc (Ω)	Rac C (MΩ)	Rac//Xc	t/d	√f/Rdc	Rac Skin Effect	R High Freq	R dc L+R ac SE+R HF+jXL	Z	
Pelapisan Krom 1	1	766.00	0.8	3.85	0.004	54.40	-3.81783973974114i	0.255	255000-3.81783973974114i	0.06	804.44	0.0148	0.0117	0.0305008363776192+3.85188571428571i	0.0305590171283995+3.85188479282131i	3.85
	2	769.00	0.8	3.87	0.004	54.40	-3.80294569654319i	0.255	255000-3.80294569654319i	0.06	806.02	0.0148	0.0117	0.0305237268521452+3.86697142857143i	0.0305823642422722+3.86697050279698i	3.87
	3	769.00	0.8	3.87	0.004	54.40	-3.80294569654319i	0.255	255000-3.80294569654319i	0.06	806.02	0.0148	0.0117	0.0305237268521452+3.86697142857143i	0.0305823642422722+3.86697050279698i	3.87
	4	757.00	0.8	3.81	0.004	54.40	-3.86323017257822i	0.255	255000-3.86323017257822i	0.06	799.70	0.0148	0.0116	0.0304318946793775+3.80662857142857i	0.0304887162217415+3.80662766286937i	3.81
	5	759.00	0.8	3.82	0.004	54.40	-3.85305038292716i	0.255	255000-3.85305038292716i	0.06	800.76	0.0148	0.0116	0.0304472503226038+3.81668571428571i	0.030504372522998+3.81668480286193i	3.82
	6	758.00	0.8	3.81	0.004	54.40	-3.85813356285186i	0.255	255000-3.85813356285186i	0.06	800.23	0.0148	0.0116	0.0304395750332546+3.81165714285714i	0.0304965468054705+3.81165623286588i	3.81
	7	757.00	0.8	3.81	0.004	54.40	-3.86323017257822i	0.255	255000-3.86323017257822i	0.06	799.70	0.0148	0.0116	0.0304318946793775+3.80662857142857i	0.0304887162217415+3.80662766286937i	3.81
	8	759.00	0.8	3.82	0.004	54.40	-3.85305038292716i	0.255	255000-3.85305038292716i	0.06	800.76	0.0148	0.0116	0.0304472503226038+3.81668571428571i	0.030504372522998+3.81668480286193i	3.82
	9	769.00	0.8	3.87	0.004	54.40	-3.80294569654319i	0.255	255000-3.80294569654319i	0.06	806.02	0.0148	0.0117	0.0305237268521452+3.86697142857143i	0.0305823642422722+3.86697050279698i	3.87
	10	757.00	0.8	3.81	0.004	54.40	-3.86323017257822i	0.255	255000-3.86323017257822i	0.06	799.70	0.0148	0.0116	0.0304318946793775+3.80662857142857i	0.0304887162217415+3.80662766286937i	3.81

LAMPIRAN 3. (LANJUTAN)

Diameter
Penampang (d) =
0.641 cm
Tebal antenna (t)
= 0.04 cm
Panjang Antena
(l) = 103 cm

Kon disi	Perc obaa n ke-	Pemancar														
		f (kHz)	L (uH)	XL (Ω)	Rdc L (Ω)	C(nF)	Xc (Ω)	Rac C (MΩ)	Rac//Xc	t/d	√f/Rdc	Rac Skin Effect	R High Freq	R dc L+R ac SE+R HF+jXL	Z	Mag nitud e Z
Pelapisan Krom 2	1	769.00	0.8	3.87	0.004	54.40	-3.80294569654319i	0.255	255000- 3.80294569654319i	0.06	806.02	0.0148	0.0117	0.0305237268521452 +3.86697142857143i	0.0305823642422722 +3.86697050279698i	3.87
	2	766.00	0.8	3.85	0.003	54.40	-3.81783973974114i	0.255	255000- 3.81783973974114i	0.06	804.44	0.0148	0.0117	0.0305008363776192 +3.85188571428571i	0.0305590171283995 +3.85188479282131i	3.85
	3	769.00	0.8	3.87	0.005	54.40	-3.80294569654319i	0.255	255000- 3.80294569654319i	0.06	806.02	0.0148	0.0117	0.0305237268521452 +3.86697142857143i	0.0305823642422722 +3.86697050279698i	3.87
	4	768.00	0.8	3.86	0.005	54.40	-3.80789744875223i	0.255	255000- 3.80789744875223i	0.06	805.49	0.0148	0.0117	0.030516101663142+ 3.86194285714286i	0.030574586641827+ 3.86194193280555i	3.86
	5	762.00	0.8	3.83	0.004	54.40	-3.83788089323059i	0.255	255000- 3.83788089323059i	0.06	802.34	0.0148	0.0117	0.0304702459033771 +3.83177142857143i	0.0305278205782642 +3.83177051284729i	3.83
	6	769.00	0.8	3.87	0.004	54.40	-3.80294569654319i	0.255	255000- 3.80294569654319i	0.06	806.02	0.0148	0.0117	0.0305237268521452 +3.86697142857143i	0.0305823642422722 +3.86697050279698i	3.87
	7	768.00	0.8	3.86	0.004	54.40	-3.80789744875223i	0.255	255000- 3.80789744875223i	0.06	805.49	0.0148	0.0117	0.030516101663142+ 3.86194285714286i	0.030574586641827+ 3.86194193280555i	3.86
	8	762.00	0.8	3.83	0.004	54.40	-3.83788089323059i	0.255	255000- 3.83788089323059i	0.06	802.34	0.0148	0.0117	0.0304702459033771 +3.83177142857143i	0.0305278205782642 +3.83177051284729i	3.83
	9	768.00	0.8	3.86	0.004	54.40	-3.80789744875223i	0.255	255000- 3.80789744875223i	0.06	805.49	0.0148	0.0117	0.030516101663142+ 3.86194285714286i	0.030574586641827+ 3.86194193280555i	3.86
	10	769.00	0.8	3.87	0.004	54.40	-3.80294569654319i	0.255	255000- 3.80294569654319i	0.06	806.02	0.0148	0.0117	0.0305237268521452 +3.86697142857143i	0.0305823642422722 +3.86697050279698i	3.87

**LAMPIRAN 4. DATA PERHITUNGAN IMPEDANSI DI ANTENA PENERIMA
(PERCOBAAN LAPISAN ELEKTROPLATING KROM)**

Diameter

Penampang (d) =

0.639 cm

Tebal antenna (t)

= 0.04 cm

Panjang Antena

(l) = 95.1 cm

Kondisi	Percobaan ke-	Penerima														
		f (kHz)	L (uH)	XL (Ω)	Rdc L (Ω)	C(nF)	Xc (Ω)	Rac C (MΩ)	Rac//Xc	t/d	√f/Rdc	Rac Skin Effect	R High Freq	R dc L+R ac SE+R HF+jXL	Z	Magnitudo Z
Tembaga	1	763.30	0.8	3.84	0.002	27.20	-7.66268895753101i	0.51	510000-7.66268895753101i	0.06	1091.23	0.012	0.0108	0.0248180906494092+3.83830857142857i	0.0248469769189442+3.83830819807857i	3.84
	2	764.50	0.8	3.84	0.002	27.20	-7.65066119199924i	0.51	510000-7.65066119199924i	0.06	1092.09	0.012	0.0108	0.0248265909838659+3.84434285714286i	0.0248555681531758+3.84434248307707i	3.84
	3	760.40	0.8	3.82	0.002	27.20	-7.69191278443375i	0.51	510000-7.69191278443375i	0.06	1089.15	0.012	0.0108	0.0247975205472768+3.82372571428571i	0.0248261877318802+3.82372534266427i	3.82
	4	762.10	0.8	3.83	0.002	27.20	-7.67475460081803i	0.51	510000-7.67475460081803i	0.06	1090.37	0.012	0.0108	0.0248095836305449+3.83227428571429i	0.0248383791430997+3.83227391307977i	3.83
	5	765.30	0.8	3.85	0.002	27.20	-7.64266363685277i	0.51	510000-7.64266363685277i	0.06	1092.66	0.012	0.0108	0.0248322541677154+3.84836571428571i	0.0248612920162057+3.84836533974257i	3.85
	6	759.20	0.8	3.82	0.002	27.20	-7.70407070769682i	0.51	510000-7.70407070769682i	0.06	1088.29	0.012	0.0108	0.0247889973091003+3.81769142857143i	0.024817574081811+3.81769105766473i	3.82
	7	767.30	0.8	3.86	0.002	27.20	-7.62274270987023i	0.51	510000-7.62274270987023i	0.06	1094.08	0.012	0.0108	0.0248463991909361+3.85842285714286i	0.0248755890150344+3.85842248140572i	3.86
	8	763.20	0.8	3.84	0.002	27.20	-7.66369297862084i	0.51	510000-7.66369297862084i	0.06	1091.16	0.012	0.0108	0.0248173819866952+3.83780571428571i	0.0248462606876944+3.83780534099536i	3.84
	9	763.40	0.8	3.84	0.002	27.20	-7.66168519948051i	0.51	510000-7.66168519948051i	0.06	1091.30	0.012	0.0108	0.0248187992657038+3.83881142857143i	0.024847693104766+3.83881105516179i	3.84
	10	766.30	0.8	3.85	0.002	27.20	-7.6326901752361i	0.51	510000-7.6326901752361i	0.06	1093.37	0.012	0.0108	0.0248393289866838+3.85339428571428i	0.0248684427733965+3.85339391057424i	3.85

LAMPIRAN 4. (LANJUTAN)

Diameter
 Penampang (d) =
 0.63907 cm
 Tebal antena (t)
 = 0.0407 cm
 Panjang Antena
 (l) = 95.1 cm

Kon disi	Perc obaa n ke-	Penerima															
		f (kHz)	L (uH)	XL (Ω)	Rdc L (Ω)	C(nF)	Xc (Ω)	Rac C (MΩ)	Rac/Xc	t/d	√f/Rdc	Rac Skin Effect	R High Freq	R dc L+R ac SE+R HF+jXL	Z	Mag nitud e Z	
Pelapisan Krom I	1	766.10	0.8	3.85	0.003	27.20	-7.63468278460178i	0.51	510000-7.63468278460178i	0.06	1093.23	0.012	0.0108	0.0248367272704333 +3.85238857142857i	0.0248658258616842 +3.85238819642587i	3.85	
	2	757.60	0.8	3.81	0.003	27.20	-7.72034118437622i	0.51	510000-7.72034118437622i	0.06	1087.15	0.012	0.0108	0.0247764419885536 +3.80964571428571i	0.0248048984343143 +3.80964534434917i	3.81	
	3	765.30	0.8	3.85	0.002	27.20	-7.64266363685277i	0.51	510000-7.64266363685277i	0.06	1092.66	0.012	0.0108	0.0248310676657802 +3.84836571428571i	0.0248601055143861 +3.84836533976046i	3.85	
	4	757.60	0.8	3.81	0.002	27.20	-7.72034118437622i	0.51	510000-7.72034118437622i	0.06	1087.15	0.012	0.0108	0.0247764419885536 +3.80964571428571i	0.0248048984343143 +3.80964534434917i	3.81	
	5	766.20	0.8	3.85	0.002	27.20	-7.63368634988701i	0.51	510000-7.63368634988701i	0.06	1093.30	0.012	0.0108	0.0248374345131993 +3.85289142857143i	0.024866540701743+ 3.85289105350902i	3.85	
	6	759.00	0.8	3.82	0.002	27.20	-7.70610076585431i	0.51	510000-7.70610076585431i	0.06	1088.15	0.012	0.0108	0.0247863945065294 +3.81668571428571i	0.0248149562245891 +3.8166853435158i	3.82	
	7	756.40	0.8	3.80	0.002	27.20	-7.73258921375387i	0.51	510000-7.73258921375387i	0.06	1086.28	0.012	0.0108	0.0247679039373081 +3.80361142857143i	0.0247962703043641 +3.80361105934887i	3.80	
	8	763.90	0.8	3.84	0.003	27.20	-7.65667035120228i	0.51	510000-7.65667035120228i	0.06	1091.66	0.012	0.0108	0.0248211562350279 +3.84132571428571i	0.0248500879367163 +3.84132534059571i	3.84	
	9	757.60	0.8	3.81	0.003	27.20	-7.72034118437622i	0.51	510000-7.72034118437622i	0.06	1087.15	0.012	0.0108	0.0247764419885536 +3.80964571428571i	0.0248048984343143 +3.80964534434917i	3.81	
	10	761.70	0.8	3.83	0.002	27.20	-7.67878493013447i	0.51	510000-7.67878493013447i	0.06	1090.08	0.012	0.0108	0.0248055627614674 +3.83026285714286i	0.0248343280535428 +3.83026248476455i	3.83	

LAMPIRAN 4. (LANJUTAN)

Diameter
 Penampang (d) =
 0.64 cm
 Tebal antena (t)
 = 0.041 cm
 Panjang Antena
 (l) = 95.1 cm

Kondisi	Percobaan ke-	Penerima														
		f (kHz)	L (uH)	XL (Ω)	Rdc L (Ω)	C(nF)	Xc (Ω)	Rac C (MΩ)	Rac//Xc	t/d	$\sqrt{f/Rdc}$	Rac Skin Effect	R High Freq	R dc L+R ac SE+R HF+jXL	Z	Magnitudo Z
Pelapisan Nikel 3	1	763.70	0.8	3.84	0.002	27.20	-7.65867550253165i	0.51	510000-7.65867550253165i	0.09	773.84	0.0172	0.001	0.0222484050047523+3.84032i	0.0222773217956271+3.8403196651538i	3.84
	2	763.10	0.8	3.84	0.003	27.20	-7.66469726285339i	0.51	510000-7.66469726285339i	0.09	773.54	0.0172	0.001	0.0222479930847555+3.83730285714286i	0.0222768644551133+3.83730252256627i	3.84
	3	767.50	0.8	3.86	0.002	27.20	-7.62075632740511i	0.51	510000-7.62075632740511i	0.09	775.77	0.0172	0.0011	0.0222510100823433+3.85942857142857i	0.0222802153654935+3.85942823487462i	3.86
	4	769.20	0.8	3.87	0.003	27.20	-7.60391378221974i	0.51	510000-7.60391378221974i	0.09	776.62	0.0172	0.0011	0.0222521734236116+3.86797714285714i	0.022281508232682+3.86797680553911i	3.87
	5	760.70	0.8	3.83	0.002	27.20	-7.68887929707299i	0.51	510000-7.68887929707299i	0.09	772.32	0.0172	0.001	0.0222463437831411+3.82523428571429i	0.0222750338284176+3.82523395221606i	3.83
	6	769.00	0.8	3.87	0.002	27.20	-7.60589139308638i	0.51	510000-7.60589139308638i	0.09	776.52	0.0172	0.0011	0.0222520366267023+3.86697142857143i	0.0222813561825547+3.8669710913433i	3.87
	7	761.40	0.8	3.83	0.002	27.20	-7.68181045611167i	0.51	510000-7.68181045611167i	0.09	772.68	0.0172	0.001	0.0222468250978688+3.82875428571429i	0.0222755679706255+3.82875395190154i	3.83
	8	772.20	0.8	3.88	0.003	27.20	-7.57437254763458i	0.51	510000-7.57437254763458i	0.09	778.14	0.0172	0.0011	0.0222542232471475+3.88306285714286i	0.0222837873304696+3.88306251847628i	3.88
	9	767.60	0.8	3.86	0.003	27.20	-7.61976352434005i	0.51	510000-7.61976352434005i	0.09	775.82	0.0172	0.0011	0.0222510785498253+3.85993142857143i	0.0222802914442142+3.85993109197254i	3.86
	10	765.30	0.8	3.85	0.003	27.20	-7.64266363685277i	0.51	510000-7.64266363685277i	0.09	774.65	0.0172	0.001	0.0222495026676675+3.84836571428571i	0.0222785407544472+3.8483653787205i	3.85