



**ANALISA PERANCANGAN RECTENNA HELIX MODE AXIAL
PADA FREKUENSI GSM 900 MHz MENGGUNAKAN METODE
VOLTAGE MULTIPLIER COCKROFT-WALTON
DAN L MATCHING IMPEDANCE**

SKRIPSI

Oleh :
Adelana Yogi Santosa
NIM 141910201053

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO STRATA 1
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**ANALISA PERANCANGAN RECTENNA HELIX MODE AXIAL
PADA FREKUENSI GSM 900 MHz MENGGUNAKAN METODE
VOLTAGE MULTIPLIER COCKROFT-WALTON
DAN L MATCHING IMPEDANCE**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh :
Adelana Yogi Santosa
NIM 141910201053

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO STRATA 1
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Dengan ini saya persembahkan skripsi kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus untuk segala kasih-Nya, penyertaan dan segala karunia yang diberikan-Nya.
2. Kedua orang tua tercinta Ayah dan Ibu, Drs. Joko Santoso dan Sukartini, serta kakak dan adik, Alan Yoga Santosa dan Alga Yoge Santosa atas kasih sayang, pengorbanan, kesabaran dan dukungan yang tiada tara serta doa yang selalu menyertai.
3. Guru – guru mulai SD Negeri 1 Purwoharjo, SMP Negeri 1 Purwoharjo, SMA Negeri 1 Purwoharjo, dan dosen-dosen Teknik Elektro Universitas Jember. Terima kasih untuk ilmu dan pengalaman yang telah diajarkan selama ini.
4. LoL Squad yang selalu menemani waktu kosong dan waktu susah untuk menghibur maupun gaming League bersama.
5. Rekan-rekan satu DPU dan DPA yang selalu menemani saya berjuang mulai awal pengerjaan skripsi hingga selesai.
6. Keluarga KETEK UJ 2014 yang selalu membantu, menyemangati dan selalu mendampingi selama pengerjaan skripsi ini.
7. Almamater Teknik Elektro Universitas Jember.

MOTTO

“Saat-saat paling menyeramkan adalah saat dimana belum memulai sesuatu.”

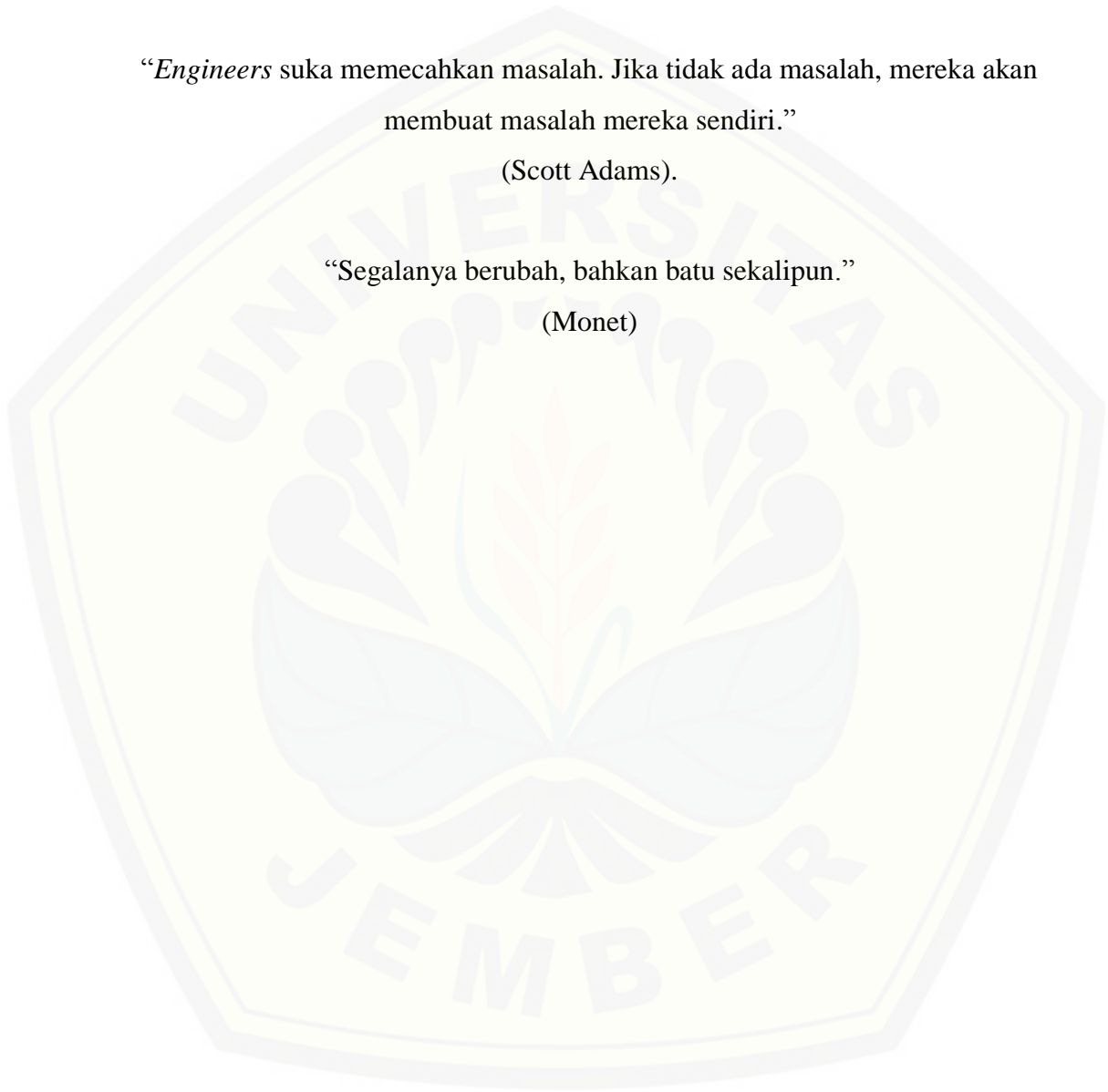
(Stephen King)

“*Engineers* suka memecahkan masalah. Jika tidak ada masalah, mereka akan membuat masalah mereka sendiri.”

(Scott Adams).

“Segalanya berubah, bahkan batu sekalipun.”

(Monet)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama: Adelana Yogi Santosa

NIM : 141910201053

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "Analisa Perancangan Rectenna Helix Mode Axial pada Frekuensi GSM 900 MHz Menggunakan Metode Voltage Multiplier Cockroft-Walton dan L Matching Impedance" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 28 Desember 2018

Yang menyatakan,

Adelana Yogi Santosa

NIM 141910201053

SKRIPSI

**ANALISA PERANCANGAN RECTENNA HELIX MODE AXIAL
PADA FREKUENSI GSM 900 MHz MENGGUNAKAN METODE
VOLTAGE MULTIPLIER COCKROFT-WALTON
DAN L MATCHING IMPEDANCE**

**Adelana Yogi Santosa
NIM 141910201053**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dodi Setiabudi, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Alfredo Bayu Satriya S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul "Analisa Perancangan Rectenna Helix Mode Axial pada Frekuensi GSM 900 MHz Menggunakan Metode Voltage Multiplier Cockroft-Walton dan L Matching Impedance" Telah diuji dan disahkan pada :

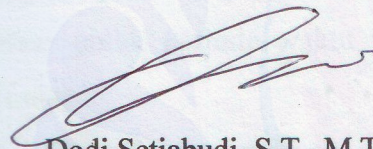
Hari : Jumat

Tanggal : 4 Januari 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

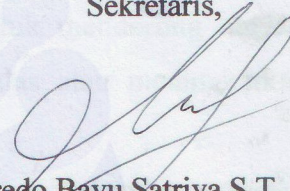
Tim Penguji

Ketua,



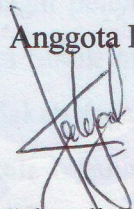
Dodi Setiabudi, S.T., M.T.
NIP 19840531 200812 1 004

Sekretaris,



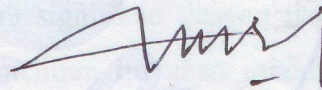
Alfredo Bayu Satriya S.T., M.T.
NIP 19890519 201504 1 001

Anggota I,



Widya Cahyadi, S.T., M.T.
NIP 19851110 201404 1 001

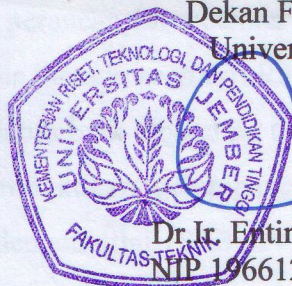
Anggota II,



Catur Suko Sarwono S.T., M.Si.
NIP 19680119 199702 1 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Jember,



Dr. Ir. Entin Hidayah M.U.M
NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Analisa Perancangan Rectenna Helix Mode Axial pada Frekuensi GSM 900 MHz Menggunakan Metode Voltage Multiplier Cockroft-Walton dan L Matching Impedance : Adelana Yogi Santosa, 141910201053: 2018: 74 halaman: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dewasa ini hampir semua perangkat elektronika menggunakan tegangan kecil DC (*Direct Current*). Sumber tegangan DC yang paling sering kita lihat dan gunakan adalah baterai, namun dalam hal ini baterai memiliki keterbatasan *life time*. Disisi lain, banyaknya baterai yang telah mecapai *life time* menimbulkan pencemaran lingkungan. Masa pakai baterai terbatas ini telah mendorong penelitian untuk menghasilkan ide dan teknologi baru untuk mendorong *device* berbasis *wireless* untuk periode waktu yang tidak terbatas atau meningkatkan periode waktunya.

Device yang mampu menjawab tantangan ini adalah *rectenna* yaitu perancangan antenna helix mode axial dan sistem *voltage multiplier Cockcroft-Walton* \times sebagai penyerah gelombang. Penggunaan metode ini dipilih karena kemampuannya untuk menciptakan tegangan yang tinggi pada arus yang rendah dan menggandakan tegangan tersebut secara signifikan dengan tiap *stage* sama dengan dua kali tegangan *input*. Pada Penelitian ini akan membahas tentang perancangan *rectenna* dengan mengintegrasikan antenna *helix mode axial* dan *rectifier cockroft-walton* menggunakan rangkaian *L matching impedance* dengan harapan memiliki impedansi yang sama 50Ω pada saluran transmisi dan bekerja maksimal dalam transfer daya untuk *energy harvesting*.

Dalam perancangan *rectenna* ini sangat bergantung pada efektifitas transfer daya dari antenna menuju *rectifier*. Rangkaian *L matching impedance* menghasilkan tegangan DC lebih baik dibanding tanpa menggunakan rangkaian *matching*. Hasil pengujian membuktikan gelombang elektromagnetik dapat dikonversi menjadi tegangan DC dengan nilai $+85.3 \text{ mV}$.

SUMMARY

Analysis Of Rectenna Helix Mode Axial Design On GSM 900 MHz Frequency Using Voltage Multiplier Cockcroft-Walton And L Matching Impedance Method : Adelana Yogi Santosa, 141910201053: 2018: 74 pages: Department of electrical engineering faculty of Engineering University of Jember.

Today almost all electronic devices use a small DC (Direct Current) voltage. The DC voltage source that we often see and use is a battery, but in this case the battery has a limited life time. On the other hand, the number of batteries that have reached life time causes pollution of the environment. This limited battery life has encouraged research to generate new ideas and technologies to drive wireless-based devices for an unlimited period of time or increase the time period.

The device that is able to answer this challenge is the rectenna, which is the design of axial mode helix antenna and 8x Cockcroft-Walton voltage multiplier system as wave surrender. The use of this method was chosen because of its ability to create high voltages at low currents and double the voltage significantly with each stage equal to twice the input voltage. In this study, we will discuss the design of the rectenna by integrating axial mode helix antenna and rectifier cockcroft-walton using L matching impedance in the hope of having the same impedance of 50Ω in the transmission line and working optimally in power transfer for energy harvesting.

In designing this rectenna it is very dependent on the effectiveness of transferring power from the antenna to the rectifier. The L matching impedance circuit produces a DC voltage better than without using a matching circuit. The test results prove that electromagnetic waves can be converted to DC voltage with a value of +85.3 mV.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas kasih karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisa Perancangan Rectenna Helix Mode Axial pada Frekuensi GSM 900 MHz Menggunakan Metode Voltage Multiplier Cockroft-Walton dan L Matching Impedance”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi strata satu (S1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember. Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Dr.Ir. Entin Hidayah M.U.M selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Dodi Setiabudi, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Alfredo Bayu Satriya, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing anggota yang telah rela meluangkan waktu, pikiran serta motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Widya Cahyadi, S.T., M.T., selaku dosen penguji utama dan Bapak Catur Suko Sarwono, S.T., M.Si., selaku dosen penguji anggota yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga sangat membantu terhadap penyempurnaan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing dan menanamkan rasa disiplin dan tanggung jawab dengan apa yang dilakukan selama penulis menjadi mahasiswa.
5. Bapak Widya Cahyadi, S.T., M.T., selaku Komisi Bimbingan S1 yang telah membantu penulisan skripsi secara administratif.
6. Kedua orang tua tercinta, Drs. Joko Santoso, Sukartini, serta kakak-adik Alan Yoga Santosa dan Alga Yoge Santosa atas kasih sayang, pengorbanan, kesabaran dan dukungan yang tiada tara serta doa yang selalu menyertai.
7. LoL Squad yang selalu menemani waktu kosong dan waktu susah untuk menghibur maupun gaming League bersama.

8. Rekan-rekan satu DPU dan DPA yang selalu menemani saya berjuang mulai awal pengerjaan skripsi hingga selesai.
9. Keluarga KETEK UJ 2014 yang selalu membantu, menyemangati dan selalu mendampingi saya selama pengerjaan skripsi ini.
10. Serta seluruh pihak yang telah membantu dalam mengerjakan skripsi ini yang tidak bisa disebutkan namanya satu persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 28 Desember 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
PRAKATA.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Matriks Permasalahan.....	4
2.2 Energy Harvesting.....	5
2.3 Konsep Dasar Antena.....	6
2.4 Antena.....	7
2.5 Parameter-Parameter Antena.....	8
2.5.1 Pola Radiasi	8
2.5.2 Gain	9
2.5.3 VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>).....	9
2.5.4 Bandwidth.....	10

2.5.5	<i>Return Loss</i>	11
2.5.6	<i>Axial Ratio</i>	11
2.6	Antena <i>Helix Mode Axial</i>	11
2.7	Rectifier	14
2.7.1	Penyearah Setengah Gelombang (<i>Half Wave Rectifier</i>).....	15
2.7.2	Penyearah Gelombang Penuh (<i>Full Wave Rectifier</i>).....	16
2.8	Voltage Multiplier Cockroft-Walton	17
2.8.1	<i>Cockroft-Walton Voltage Multiplier</i>	18
2.9	Matching Impedance	19
2.9.1	Impedensi Rectifier.....	19
2.9.2	Impedensi Antena Helix	20
2.10	Dioda Schottky	22
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1	Waktu dan Tempat Kegiatan	23
3.2	Ruang Lingkup Kegiatan	24
3.3	Jenis dan Sumber Data	24
3.4	Blok Sistem	25
3.5	Flowchart	25
3.6	Perancangan Desain Alat	27
3.6.1	Perancangan Desain Antena <i>Helix Mode Axial</i>	27
3.6.2	Perancangan Desain Rangkaian <i>Rectifier</i>	34
3.6.3	Perancangan Desain Sistem <i>Energy Harvesting</i>	38
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1	Pengujian Antena Secara Simulasi	41
4.1.1	Pengujian <i>Return Loss</i>	41
4.1.2	Pengujian <i>Gain</i>	41
4.1.3	Pengujian VSWR.....	43
4.1.4	Pengujian <i>Bandwidth</i>	44
4.2	Pengujian Rectifier Secara Simulasi	44
4.2.1	Pengujian Rectifier Tanpa <i>L Matching Impedance</i>	44
4.3	Fabrikasi Antena Helix Mode Axial	46

4.4 Fabrikasi Rectifier Cockroft-Walton	47
4.5 Analisa Pengukuran Antena Helix Mode Axial.....	48
4.5.1 Pengukuran Return Loss.....	48
4.5.2 Pengukuran <i>Gain</i>	55
4.5.3 Pengukuran VSWR	57
4.5.4 Pengukuran <i>Bandwidth</i>	59
4.5.5 Pengukuran Pola Radiasi	60
4.6 Analisa Hasil Simulasi dan Pengukuran	63
4.6.1 Analisis Hasil <i>Return Loss</i> dan VSWR.....	63
4.7 Implementasi Energy Harvesting Rectenna pada Lingkungan	66
4.7.1 Pengujian <i>Rectenna</i> Tanpa <i>L Matching Impedance</i>	68
4.7.2 Pengujian <i>Rectenna</i> Menggunakan <i>L Matching Impedance</i>	70
BAB 5 PENUTUP.....	73
5.1 Kesimpulan	73
5.2 Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN.....	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Garis radiasi gelombang.....	7
Gambar 2.2	Garis radiasi antena	7
Gambar 2.3	Set koordinat sistem analisis antena.....	8
Gambar 2.4	Bentuk antena <i>helix mode axial</i>	12
Gambar 2.5	Bentuk dasar antena <i>helix</i> dan hubungan antara D, S, C, L.....	12
Gambar 2.6	Kiri = <i>mode normal</i> , kanan = <i>mode axial</i>	14
Gambar 2.7	Rangkaian <i>half wave</i>	15
Gambar 2.8	Sinyal <i>output half wave</i>	15
Gambar 2.9	Rangkaian <i>full wave</i>	16
Gambar 2.10	Sinyal <i>output full wave</i>	17
Gambar 2.11	Rangkaian <i>voltage-doubler</i>	17
Gambar 2.12	Rangkaian <i>dickson charge pump</i>	18
Gambar 2.13	Rangkaian <i>karthaus-fischer cascade</i>	18
Gambar 2.14	Rangkaian <i>cockroft-walton x8 multiplier</i>	19
Gambar 2.15	Rangkaian L <i>matching impedance</i>	20
Gambar 2.16	Spasi di atas <i>ground plane</i>	22
Gambar 2.17	Seri dioda <i>schottky</i>	22
Gambar 3.1	Blok Diagram Sistem	25
Gambar 3.2	<i>Flowchart</i> Perancangan <i>Rectenna</i>	26
Gambar 3.4	Antena <i>helix mode axial</i>	31
Gambar 3.5	Frekuensi kerja antena <i>helix mode axial</i>	31
Gambar 3.6	Grafik nilai <i>return loss</i>	32
Gambar 3.7	<i>Gain</i> 2D dan 3D	32
Gambar 3.8	Rangkaian <i>cocroft-walton</i>	34
Gambar 3.9	Impedensi total rangkaian <i>rectifier</i>	34
Gambar 3.10	Rangkaian L <i>matching impedance</i>	34
Gambar 3.11	Rangkaian <i>rectifier</i> tanpa <i>matching impedance</i>	35
Gambar 3.12	Hasil simulasi <i>grapher view</i> tanpa <i>matching impedance</i>	36

Gambar 3.13 Hasil <i>output</i> tegangan pada simulasi <i>oscilloscope</i> tanpa <i>matching impedance</i>	36
Gambar 3.14 Rangkaian <i>rectifier</i> menggunakan <i>matching impedance</i>	37
Gambar 3.15 Hasil simulasi <i>grapher view</i> menggunakan <i>matching impedance</i> ..	37
Gambar 3.16 Hasil <i>output</i> tegangan pada simulasi <i>oscilloscope</i> menggunakan <i>matching impedance</i>	38
Gambar 3.17 Sistem Energy Harvesting	38
Gambar 3.18 Area Coverage BTS Telkomsel di Kampus UNEJ	39
Gambar 3.19 Jarak Antara Rx dengan Tx	39
Gambar 4.1 Grafik plot <i>return loss</i>	41
Gambar 4.2 3D <i>Gain</i> Antena Helix Mode Axial	41
Gambar 4.3 Grafik plot 2D <i>Gain</i> Antena Helix Mode Axial.....	42
Gambar 4.4 Grafik Plot 2D VSWR Antena Helix Mode Axial.....	42
Gambar 4.5 Grafik <i>Bandwidth</i>	44
Gambar 4.6 Rangkaian <i>Rectifier</i> tanpa Rangkaian <i>Matching Impedance</i>	45
Gambar 4.7 Hasil Simulasi <i>Rectifier</i> Tanpa Rangkaian <i>Matching</i>	45
Gambar 4.8 Rangkaia <i>Rectifier</i> menggukan Rangkaian <i>Matching</i>	46
Gambar 4.9 Hasil Simulasi <i>Rectifier</i> Menggunakan Rangkaian <i>Matching</i>	46
Gambar 4.10 Antena Helix yang telah di fabrikasi.....	47
Gambar 4.11 Rectenna yang telah di fabrikasi	48
Gambar 4.12 Pengukuran Antena <i>Helix Mode Axial</i> di Laboratorium.....	48
Gambar 4.13 Skema pengukuran nilai <i>return loss</i>	49
Gambar 4.14 <i>Directional Coupler</i>	49
Gambar 4.15 Level Antena Helix Mode Axial	50
Gambar 4.16 Level Referensi dBm.....	50
Gambar 4.17 Detail Hasil Pengukuran Antena Helix pada Frekuensi 1900MHz	51
Gambar 4.18 Detail Hasil Pengukuran Referensi Frekuensi 1900 MHz	51
Gambar 4.19 Grafik Return Loss	54
Gambar 4.20 Pengambilan Data Gain Antena Helix	55
Gambar 4.21 Grafik nilai VSWR.....	59
Gambar 4.22 Grafik Return Loss	60

Gambar 4.23 Pengukuran Pola Radiasi.....	61
Gambar 4.24 Pola Radiasi Antena Helix	62
Gambar 4.25 Grafik <i>Return Loss</i> Hasil Simulasi dan Pengukuran	64
Gambar 4.26 Grafik VSWR hasil simulasi dan pengukuran	65
Gambar 4.27 Perancangan Alat <i>Rectenna</i> untuk <i>Harvesting Energy</i>	67
Gambar 4.28 Jarak Lokasi dari BTS	67
Gambar 4.29 <i>Rectifier</i> Tanpa <i>Matching Impedance</i>	68
Gambar 4.30 Proses Pengambilan Data/hasil tegangan output VDC	69
Gambar 4.31 Grafik V DC <i>Rectifier</i> tanpa Rangkaian <i>Matching</i>	70
Gambar 4.33 Proses Pengambilan Data/hasil tegangan output VDC	71
Gambar 4.34 Grafik V DC Rectifier dengan Rangkaian <i>Matching</i>	72
Gambar 4.35 Grafik Kedua Hasil V DC <i>Rectenna</i>	72

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Matriks Permasalahan	4
Tabel 3.1 Rencana Kegiatan Tugas Akhir	23
Tabel 3.2 Bahan Antena <i>Helix Mode Axial</i>	28
Tabel 3.3 Dimensi Antena <i>Helix Mode Axial</i> Perhitungan Matematis	29
Tabel 3.4 Data <i>Matching Impedance</i> Antena <i>Helix Mode Axial</i>	30
Tabel 3.5 Hasil Iterasi Antena <i>Helix Mode Axial</i>	33
Tabel 3.6 Pengujian <i>Rectenna</i> tanpa <i>L matching impedance</i>	40
Tabel 3.7 Pengujian <i>Rectenna</i> menggunakan <i>L matching impedance</i>	40
Tabel 4.1 Data level daya yang terbaca pada <i>spectrum analyzer</i>	51
Tabel 4.2 Nilai <i>Return loss</i> hasil Pengukuran <i>Spectrum Analyzer</i>	52
Tabel 4.3 Nilai Gain Antena Helix	55
Tabel 4.4 Nilai VSWR	57
Tabel 4.5 Pengukuran pola radiasi	61
Tabel 4.6 Hasil pengukuran dengan hasil simulasi	65
Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Tegangan tanpa <i>Matching Impedance</i>	69
Tabel 4.8 Hasil Pengukuran Tegangan dengan <i>Matching Impedance</i>	71

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini teknologi semakin maju dengan pesat, terutama pada bidang telekomunikasi yang menunjukkan perubahan-perubahan signifikan. Baik itu *hardware* yang diproduksi maupun pada *software* yang terdapat pada perangkat elektronika tersebut. Saat ini hampir semua perangkat elektronika menggunakan tegangan kecil DC (*Direct Current*). Sumber tegangan DC yang paling sering kita lihat dan gunakan adalah baterai, namun dalam hal ini baterai memiliki keterbatasan *life time*. Disisi lain, banyaknya baterai yang telah mencapai *life time* menimbulkan pencemaran lingkungan. Masa pakai baterai terbatas ini telah mendorong penelitian untuk menghasilkan ide dan teknologi baru untuk mendorong *device* berbasis *wireless* untuk periode waktu yang tidak terbatas atau meningkatkan periode waktunya (Lenin, 2014).

Energy harvesting adalah proses dimana energi berasal dari sumber eksternal seperti energi surya, panas bumi, kecepatan angin, gerak gelombang pasang surut air laut dan gelombang elektromagnetik. Salah satu perangkat yang dapat digunakan untuk *energy harvesting* gelombang elektromagnetik ini adalah *rectifier* yang diintegrasikan dengan antena yang sering disebut juga *rectenna*. *Rectifier* atau penyearah gelombang merupakan media konversi *energy harvesting* yang berfungsi untuk mengubah sinyal tegangan AC (*Alternating Current*) menjadi tegangan DC (*Direct Current*), sedangkan antena digunakan sebagai penangkap gelombang elektromagnetik dari ruang bebas (Aviantoro, 2016).

Pada penelitian tugas akhir ini dilakukan perancangan dan realisasi sistem RF *energy harvesting* dengan sumber dari antena helix mode axial pada frekuensi GSM 900 MHz. Pembahasan yang dilakukan meliputi perancangan antena helix mode axial dan sistem *voltage multiplier* Cockcroft-Walton sebagai penyerah gelombang. Penggunaan metode ini dipilih karena kemampuannya untuk menciptakan tegangan yang tinggi pada arus yang rendah dengan biaya yang murah. Selain murah dan memiliki kemampuan menggandakan tegangan secara signifikan. Keunggulan terbesar dari rangkaian ini tegangan pada tiap *stage* sama

dengan dua kali tegangan *input* puncak dalam *rectifier half wave*, sedangkan dalam *rectifier full wave* adalah tiga kali tegangan *input* (Patel, 2016). *Rectifier* yang dirancang dan direalisasikan berupa rangkaian penyearah *voltage multiplier* dengan menggunakan 8 buah dioda schottky. Penggunaan antenna *helix mode axial* diharapkan mampu menerima secara optimal sinyal yang di pancarkan dari sumber RF dengan pola radiasi terarah dengan rasio lebar pita 1,78:1 mendekati antenna *broadcast* (≥ 2) dan gain yang cukup besar (Faizal, 2016).

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah yang ada pada proposal ini adalah :

1. Bagaimana merancang *rectenna* dengan metode *voltage multiplier cockroft-walton* yang bekerja pada frekuensi GSM 900 MHz untuk *energy harvesting*?
2. Bagaimana karakteristik *rectenna* yang terintegrasi dengan L *matching impedance* pada penyearah *voltage multiplier cockroft-walton* dan antenna *helix mode axial* pada frekuensi GSM 900 MHz?
3. Bagaimana analisa hasil pengujian *rectenna* yang telah dibuat?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, agar pembahasan pada penelitian ini tidak terlalu jauh maka diperlukan suatu pembatas diantaranya :

1. Antena yang digunakan adalah antenna *helix mode axial* dengan rentang frekuensi kerja GSM.
2. Dioda menggunakan jenis dioda schottky agar dapat bekerja pada level tegangan yang sangat rendah dan frekuensi yang tinggi.
3. Menekankan efisiensi daya transfer pada *receiver* antenna *helix mode axial* dan rangkaian *rectifier*.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan merealisasikan *rectenna* dengan metode *voltage multiplier Cockcroft-Walton* dan antenna *helix mode axial* sebagai converter dari

gelombang RF menjadi tegangan listrik DC untuk sistem *energy harvesting* pada frekuensi jaringan GSM 900 MHz.

2. Menganalisa karakteristik *rectenna* penyearah *voltage multiplier cockcroft-walton* dan antena *helix mode axial* sebelum dan sesudah terintegrasi dengan L *matching impedance* yang telah dirancang dan direalisasi.
3. Menguji hasil dari perancangan dan realisasi *rectenna* penyearah *voltage multiplier* Cockcroft-Walton dan antena *helix mode axial* untuk melihat parameter-parameter yang dihasilkan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian adalah dapat membuat suatu alat untuk menghasilkan energi alternatif dari sinyal radio frekuensi untuk alat elektronika berdaya rendah. Dan membuktikan bahwa energi dapat dihasilkan dari sumber gelombang radio frekuensi.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dijelaskan materi tentang komponen yang digunakan beserta cara umum dari alat ini sendiri. Dan dijelaskan tentang pengumpulan pendapat atau teori yang telah ada yang berkaitan dengan masalah yang dibahas, membandingkan dan memilih teori yang paling relevan untuk memecahkan masalah, membahas atau menilai kelemahan dan keunggulan teori-teori, dan menentukan teori-teori sebagai dasar analisis selanjutnya, dan dapat dijelaskan dibawah ini antara lain:

2.1 Matriks Permasalahan

Pada subbab ini dibuat guna untuk meninjau penelitian yang sudah ada dengan penelitian yang akan dikerjakan sebagai bahan perbandingan

Tabel 2.1 Matriks Permasalahan

No	Judul Riset	Masalah	Solusi	Nama (Tahun)
1	Dual-Band Rectenna for Ambient RF Energy Harvesting at GSM 900 MHz and 1800 MHz	Tidak ada alat untuk menghasilkan energi alternatif dari RF frekuensi 900 MHz dan 1800 MHz (dual Band)	Menggunakan harmonic balance	Dinh-Khanh Ho (2016)
2	A Compact Slot Loop Rectenna for Dual-Band Operation at 2.4- and 5.8-GHz Bands (Jiunn-Kai Huang, National Taiwan University)	Belum ada sebelumnya mode resonansi untuk setengah gelombang dan satu gelombang untuk antena MSL-fed slot loop	Menggunakan slot loop pada antena microstrip dan rangkaian matching	Jiunn-Kai Huang (2016)
3	A 2,4 GHz Circular Polarization Rectenna with Harmonic Suppression for Microwave Power	Belum ada alat untuk Harvesting energy dengan frekuensi 2,4 GHz	Menggunakan polasisasi sirkular Dengan metode harmonic suppression filter	Yanjie Cao (2016)
4	Design and Simulation of Energy Harvesting System Using GSM Signal	Tidak ada alat untuk menghasilkan energi alternatif dari RF frekuensi sinyal GSM	Memakai desain seven-stage voltage doubler pada dioda schottky	Anujin Lenin (2014)
5	Performance Analysis of a Ultra-Compact Low-Power Rectenna in Paper Substrate for RF Energy Harvesting	Perlu adanya penelitian alat untuk Rectenna Low-Power Ultra-Compact	Menggunakan single dioda rectifier Menggunakan antena microstrip jenis lingkaran dengan reflektor	V. Palazzi (2017)
6	Perencanaan dan Analisis Rangkaian Rectifier pada	Tegangan <i>output</i> rectifier tanpa booster	Rangkaian rectifier perlu ditambahkan	Dyah Retno Palupi (2014)

	Rectenna Menggunakan Antena Televisi	tidak dapat menyalakan indikator LED	penguat tegangan atau penguat arus.	
7	Perancangan Rectifier Antena Mikrostrip Array Tiga Elemen untuk Pemanen Energi Elektromagnetik pada Frekuensi GSM 900 MHz	Tegangan keluaran masih terbilang kecil salah satunya dipengaruhi oleh jarak pemancar dengan <i>rectenna</i>	Menggunakan optimasi antena microstrip array tiga element sehingga memiliki gain yang lebih besar	Rizky Putra Santosa (2015)

Berdasarkan beberapa jurnal diatas terdapat beberapa poin penting yang mempengaruhi efisiensi konversi dari radio frekuensi ke tegangan DC, diantaranya adalah perancangan *matching impedance* dan perancangan rangkaian *voltage multiplier* dengan berbagai metode. Rangkaian *matching impedance* sangat mempengaruhi transfer daya dari antena menuju rangkaian *rectifier*. Oleh karena itu penulis menggunakan antena *helix mode axial* dan metode rangkaian *voltage multiplier cockroft-walton* dengan rangkaian *matching impedance mode L* dengan harapan dapat menghasilkan tegangan *output* yang lebih optimal.

2.2 Energy Harvesting

Energy harvesting merupakan proses pemanfaatan energi terbarukan dimana energi tersebut berasal dari sumber eksternal. Energi yang berasal dari lingkungan contohnya adalah energi angin, energi matahari, energi frekuensi radio, energi panas bumi, energi gerak, dan masih banyak lagi. Diantara banyaknya sumber energi tersebut, sumber energi yang saat ini berpotensi besar untuk dimanfaatkan adalah frekuensi radio dengan rentang frekuensi bermacam - macam 3 Hz hingga 300 GHz mencakup frekuensi TV, GSM, CDMA, 3G, dan *Wi-Fi*. Gelombang radio merupakan bagian dari spektrum elektromagnetik yang terdiri dari gelombang magnet dan gelombang listrik. Gelombang radio membawa informasi dengan memvariasikan kombinasi dari amplitudo, frekuensi, dan fase pada gelombang. Intensitas energi frekuensi radio naik dipengaruhi oleh teknologi *wireless* yang semakin lama terus berkembang. (Lenin, 2014)

2.3 Konsep Dasar Antena

Antena merupakan rangkaian elektronika khusus yang dapat beresonansi. Pada umumnya untuk ukuran kondensator dan kumparan lebih kecil dibanding panjang gelombang resonansinya. Sehingga medan magnetik dan listrik tetap berada pada rangkaian. Energi medan tersebut diubah menjadi sinyal dan sebagian menjadi energi panas. Ketebalan kumparan dan besar kondensator yang sebanding dengan panjang gelombang resonansi dapat menghasilkan gelombang elektromagnetik. Daya medan elektromagnetik yang dipancarkan tergantung dari luas medan pancar, besar arus, tegangan listrik di rangkaian tersebut.

Antena dibuat untuk menimbulkan arus listrik yang menghasilkan frekuensi tinggi berdasarkan jumlah energi yang dipakai. Dengan frekuensi tinggi ini antena berfungsi sebagai transformator antara saluran transmisi dengan gelombang ruang bebas. Ada dua tipe dasar antena dilihat berdasarkan pola radiasinya yaitu *directional* dan *omnidirectional*.

Parameter antena yang penting untuk tujuan tertentu, yaitu resonansi frekuensi, pola radiasi, *gain* dan polarisasi. Semua antena memiliki parameter yang sama, baik itu pemancar maupun penerima, dan polarisasi tertentu. (Nugraha, 2011)

a. Resonansi

Frekuensi resonansi frekuensi berkaitan dengan panjang kumparan sebuah antena. Panjang kumparan berpengaruh dalam faktor kecepatan (perbandingan dari kecepatan dalam kumparan dengan kecepatan cahaya).

b. Pola radiasi

Pola radiasi antena adalah plot 3-dimensi distribusi sinyal yang dipancarkan atau diterima oleh sebuah antenna

c. Gain

Gain (*directive gain*) adalah karakter antena yang terkait dengan kemampuan antenna mengarahkan radiasi sinyalnya, atau penerimaan sinyal dari arah tertentu.

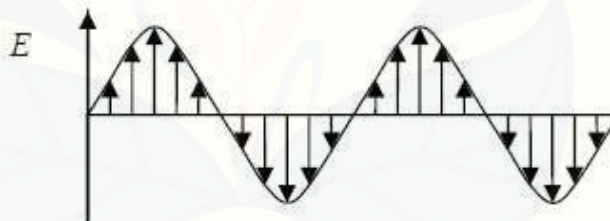
d. Polarisasi

Arah rambat dari medan elektromagnet yang dibentuk oleh antenna.

2.4 Antena

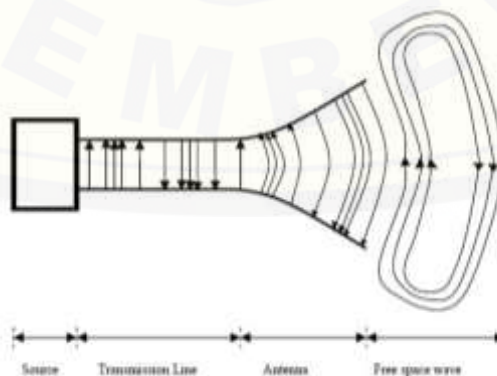
Antena merupakan sebuah perangkat yang terbuat dari logam serta mampu merubah energi listrik menjadi energi elektromagnetik begitu sebaliknya merubah energi elektromagnetik menjadi energi listrik. Dalam hal ini antena bertindak dalam hal transisi perangkat piranti pemandu dengan ruang bebas. Menurut (Wahana Komputer: 2006), Antena adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk memperkuat sinyal dari sisi pengirim sinyal, maksudnya yaitu dari sebuah *server* mengirimkan sinyal melalui *transmitter* kemudian diterima oleh sisi penerima melalui *receiver*. Secara garis besar antena dapat dibedakan menjadi antena *transmitter* dan antena *receiver* (Balanis, 2005).

Radiasi terbentuk ketika tegangan sinusoidal diterapkan di saluran transmisi yang sebelumnya tegangan sumber terhubung oleh saluran transmisi dua konduktor, medan listrik menghasilkan sinusoidal di alam serta menghasilkan arus listrik (garis listrik) dari energi tangensial. Besarnya medan listrik ditunjukkan oleh *bunching* dari energi arus listrik. Seperti yang terlihat pada Gambar 1 :



Gambar 2.1 Garis radiasi gelombang

Sumber : (Balanis C.A., 2005)



Gambar 2.2 Garis radiasi antena

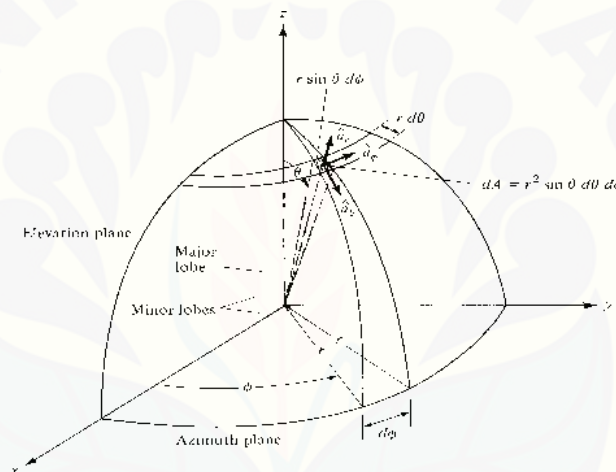
Sumber : (Balanis C.A., 2005)

2.5 Parameter-Parameter Antena

Antena memiliki kemampuan atau karakteristiknya masing-masing maka dari itu perlu adanya berbagai parameter antena. Menurut sumber buku Balanis C.A. (2005) karakteristik dan parameter antena terbagi menjadi.

2.5.1 Pola Radiasi

Pola radiasi antena merupakan fungsi matematik atau representasi grafis dari sifat-sifat radiasi dari sebuah antena untuk fungsi koordinat ruang. Pola radiasi antena digambarkan sebagai pola 3 dimensi yang terbentuk dari dua pola radiasi yaitu berupa pola elevasi dan pola azimuth.



Gambar 2.3 Set koordinat sistem analisis antena

Sumber : (Balanis C. A., 2005)

Pola radiasi antena dapat dihitung dengan perbandingan daya pada sudut 0 derajat (radiasi daya maksimum) dengan daya pada sudut tertentu. Maka pola radiasi (P) dapat dinyatakan dalam persamaan 1 (Balanis, 2005).

$$P(dB) = 10 \log \frac{P_0}{P_T} (dB) \quad (1)$$

$$P(dB) = 10 \log P_0 - 10 \log P_T$$

Dengan:

P = Intensitas radiasi antena pada sudut tertentu (dB)

P₀ = Daya yang diterima antena pada sudut 0° (watt)

P_T = Daya yang diterima antenna pada sudut tertentu (watt)

2.5.2 Gain

Gain merupakan parameter terpenting dalam menggambarkan kinerja suatu antenna. *Gain* adalah perbandingan antara intensitas radiasi suatu antenna pada suatu arah utama dengan intensitas radiasi dari antenna isotropik yang menggunakan sumber daya masukan yang sama (Balanis, 2005). *Gain* ini bukanlah suatu bentuk kuantitas yang dapat diukur seperti *watt*, *ohm* atau lainnya tetapi suatu bentuk perbandingan. Oleh karena itu, satuan dari *gain* adalah *desibel* (dB). Sehingga perbandingan besar *gain* terhadap sumber *isotropis* dapat dilihat pada persamaan (2) :

$$G = G_{ref} \times \frac{P_U}{P_R} \quad (2)$$

$$G = 1,64 \times \frac{P_U}{P_R}$$

$$G(dB) = 10 \log 1,64 \frac{P_U}{P_R}$$

$$G = 2,15 + P_U(dBm) - P_R(dBm)$$

Dengan:

G = *Gain* antenna uji(dBi)

G_{ref} = *Gain* antenna referensi (dB)

P_U = Daya yang diterima antenna uji (dBm)

P_R = Daya yang diterima antenna referensi (dBm)

2.5.3 VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

VSWR adalah perbandingan antara tegangan rms maksimum ($|V|_{max}$) dengan tegangan minimum ($|V|_{min}$) yang terjadi pada saluran yang tidak *match*. Dalam proses transmisi ada dua komponen gelombang tegangan yaitu tegangan yang dikirimkan (V_0^+) dan tegangan yang direfleksikan (V_0^-). Perbandingan ini sebagai koefisien refleksi tegangan (Γ) pada persamaan (3).

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (3)$$

Dimana :

- V_0^- : Amplitudo (tegangan) yang dipantulkan (refleksikan)
 V_0^+ : Amplitudo (tegangan) masuk
 Z_L : Impedansi beban (*load*)
 Z_0 : Impedansi saluran *lossless*

VSWR ini juga memiliki parameter sendiri, dikatakan baik jika nilai VSWR bernilai 1 ($S=1$) yang berarti tidak ada refleksi yang mengartikan keadaan *matching* sempurna. Tetapi dalam praktiknya kondisi ini sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu nilai standart VSWR yang diperbolehkan untuk fabrikasi antena yaitu $VSWR \leq 2$.

Secara matematis VSWR dinyatakan pada persamaan (4) :

$$S = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (4)$$

2.5.4 Bandwidth

Bandwidth dari suatu antena mempunyai definisi yaitu sebagai rentang frekuensi dari kinerja suatu antena serta berhubungan dengan beberapa karakteristik yang sesuai dengan standar yang ditentukan (Balanis, 2005). Dari definisi tersebut *bandwidth* sendiri merupakan rentang frekuensi dari suatu antena yang berhubungan dengan karakteristiknya (seperti impedansi masukan, polarisasi, *gain*, efisiensi, VSWR dan *return loss*) yang memenuhi standar. Bandwidth dapat dicari menggunakan persamaan (5) :

$$B_p = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100\% \quad (5)$$

$$f_c = \frac{f_l + f_u}{2}$$

$$B_r = \frac{f_u}{f_l}$$

Dengan :

B_p = *Bandwidth* dalam persen (%)

B_r = *Bandwidth rasio*

f_u = Jangkauan frekuensi atas (Hz)

f_l = Jangkauan frekuensi bawah (Hz)

2.5.5 Return Loss

Return loss adalah perbandingan antara amplitudo gelombang yang direfleksikan dengan amplitudo gelombang yang dikirimkan. Pada dasarnya *return loss* memiliki ikatan yang sama dengan VSWR yaitu disebabkan oleh pencampuran antara gelombang yang ditransmisikan dengan gelombang yang dipantulkan serta memiliki kesamaan dalam menentukan *matching* (kesesuaian impedansi) antara perangkat transmitter dengan antenna.

Parameter antenna dikatakan baik baik adalah ketika nilai *return loss* bernilai $\leq -10\text{dB}$ sehingga 90% sinyal diserap dan hanya 10% yang dipantulkan kembali. *Return loss* sendiri dapat dicari menggunakan persamaan (6) :

$$\Gamma = \frac{V_o^-}{V_o^+}$$

$$\text{RL (dB)} = 20 \log_{10} |\Gamma| \quad (6)$$

2.5.6 Axial Ratio

Axial ratio adalah salah satu indikator baik buruknya suatu antenna *helix mode axial*, jika N nya semakin besar maka nilai *axial ratio* mendekati 1 dan polarisasinya mendekati sirkuler. Ini mengartikan bahwa semakin banyak jumlah lilitan maka akan semakin baik begitu pada polarisasinya yang mendekati sirkuler. Dari identifikasi tersebut maka dihasilkan persamaan (7) yaitu (King & Wong, 2007) :

$$\text{AR} = \frac{2N+1}{2N} \quad (7)$$

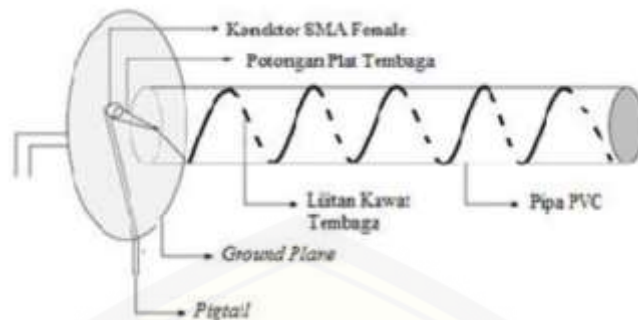
Keterangan :

N = jumlah lilitan antenna

AR = *axial ratio*

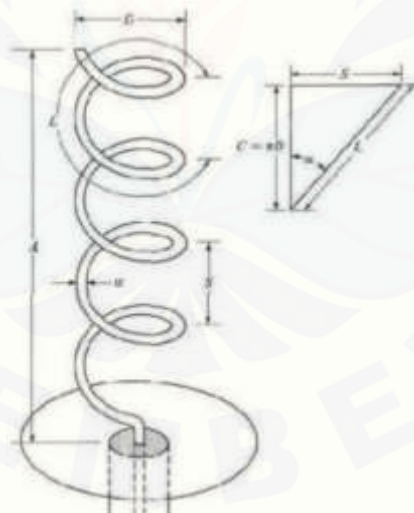
2.6 Antena Helix Mode Axial

Antena *helix mode axial* adalah suatu antenna yang terdiri dari *conducting wire* yang dililitkan pada media penyangga berbentuk *helix mode axial* (Dwijayatno, Christyono dan Santoso, 2014). Antena *helix mode axial* berbentuk tiga dimensi menyerupai pegas dan memiliki diameter lilitan serta jarak antar lilitan berukuran tertentu, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 :

Gambar 2.4 Bentuk antenna *helix mode axial*

Sumber : (Dwijayatno, 2014)

Antena *helix mode axial* diatas menggunakan sebuah kawat tembaga yang dililitkan pada pipa PVC (*Polyvinyl Chloride*) lalu pada *ground plane* menggunakan lempengan seng, plat tembaga maupun alumunium yang terhubung dengan *pigtail* menggunakan konektor SMA. Antena *helix mode axial* memiliki bentuk secara geometri 3 dimensi yang mempunyai hubungan antara D, S, C, L seperti pada Gambar 5.

Gambar 2.5 Bentuk dasar antenna *helix* dan hubungan antara D, S, C, L

Sumber : (Dwijayatno, 2014)

Dari hubungan D, S, C, L akan menghasilkan sebuah rumus dari antenna *helix mode axial*, untuk menghitung panjang gelombang menggunakan persamaan (8) (ARRL, 2007) :

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (8)$$

Keterangan :

c = kecepatan cahaya ($3 \cdot 10^8$ m/dtk)

f = frekuensi center

Kemudian untuk menghitung diameter (D) menggunakan persamaan (9) (Stutzman & Thiele, 1998):

$$D = \frac{\lambda}{\pi} \quad (9)$$

Keterangan :

λ = panjang gelombang

$\pi = 3,14$

Untuk keliling antena (C) menggunakan persamaan (10) berikut ini (Kraus, 2001) :

$$C \approx \lambda \quad (10)$$

Keterangan :

λ = panjang gelombang

Selanjutnya jarak antar lilitan (S) menggunakan persamaan (11) yaitu (Kraus, 2001) :

$$a = \arctan \frac{S}{C}$$

$$S = C \tan a \quad (11)$$

Keterangan :

C = keliling antena *helix*

$a = 10^\circ$

Lalu untuk panjang total atau panjang vertikal antena dihitung menggunakan persamaan (12) (Kraus, 2001) :

$$A = N \cdot S \quad (12)$$

Keterangan :

N = jumlah lilitan antena

S = jarak antar lengkungan

Diameter *ground plane* menggunakan persamaan (13) (ARRL, 2007):

$$D_{gp} = 0,94 \lambda \quad (13)$$

Secara umum antena *helix* dalam *mode* radiasi yaitu *mode axial* dan *mode normal*, yang membedakan adalah jika *mode axial* merupakan antena yang memancarkan energinya secara direksional sedangkan *mode normal* yaitu antena yang memancarkan energinya secara omnidireksional.

Polarisasi dari antena *helix mode axial* yaitu berbentuk sirkuler (lingkaran). Jika antena ditempatkan untuk kegunaan satelit maka yang paling cocok adalah polarisasi RHCP (*Right Handed Circular Polarization*), sedangkan jika ditempatkan pada *ground station* sebagai *feed* parabola maka menggunakan LHCP (*Left Handed Circular Polarization*). Antena *mode axial* dapat menerima sinyal berpolarisasi linier seperti vertikal dan horizontal (*American Radio Relay League* (ARRL), 2007)



Gambar 2.6 Kiri = *mode normal*, kanan = *mode axial*

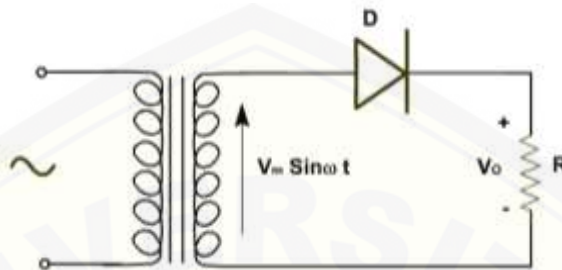
Sumber : (Rahim, 2015)

2.7 Rectifier

Rectifier atau penyearah gelombang adalah bagian dari *power supply* atau pencatu daya yang berfungsi untuk mengkonversi sinyal tegangan AC (*Alternating Current*) menjadi tegangan DC (*Direct Current*). Komponen *rectifier* adalah dioda yang dikonfigurasi secara *forward bias*. Ada 3 bagian utama dalam penyearah gelombang pada suatu *power supply* yaitu, penurun tegangan (*transformer*), penyearah gelombang *rectifier* (dioda) dan *filter* (kapasitor). Pada dasarnya konsep

penyearah gelombang dibagi dalam 2 jenis yaitu, Penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh. (Teori Elektronika, 2012)

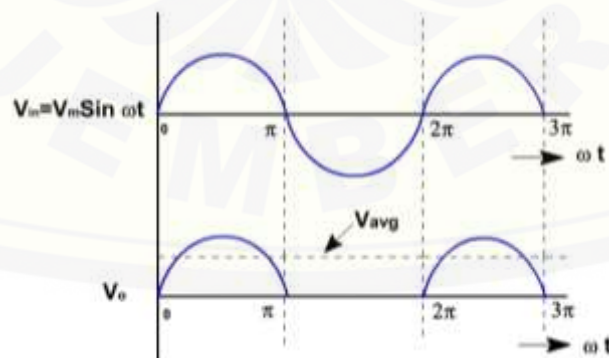
2.7.1 Penyearah Setengah Gelombang (*Half Wave Rectifier*)



Gambar 2.7 Rangkaian *half wave*

Sumber : (Ahmad, 2007)

Half wave rectifier hanya menggunakan satu buah dioda sebagai komponen utama dalam menyearahkan gelombang AC. Prinsip kerja dari penyearah setengah gelombang ini adalah mengambil sisi sinyal positif dari gelombang AC. Pada saat transformator memberikan *output* sisi positif dari gelombang AC maka dioda dalam keadaan *forward* bias sehingga sisi positif dari gelombang AC tersebut dilewatkan dan pada saat transformator memberikan sinyal sisi negatif gelombang AC maka dioda dalam posisi *reverse* bias, sehingga sinyal sisi negatif tegangan AC tersebut ditahan atau tidak dilewatkan seperti terlihat pada gambar 8 sinyal *output* penyearah setengah gelombang berikut.



Gambar 2.8 Sinyal *output half wave*

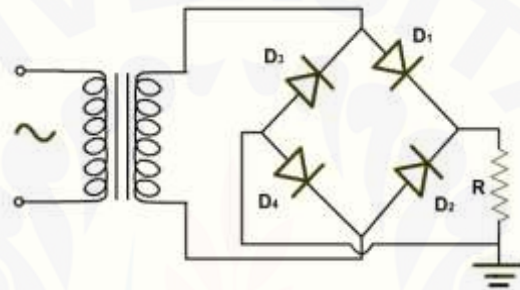
Sumber : (Ahmad, 2007)

Formulasi yang digunakan pada penyearah setengah gelombang sebagai berikut:

$$V_{avg} = \frac{V_m}{\pi R}$$

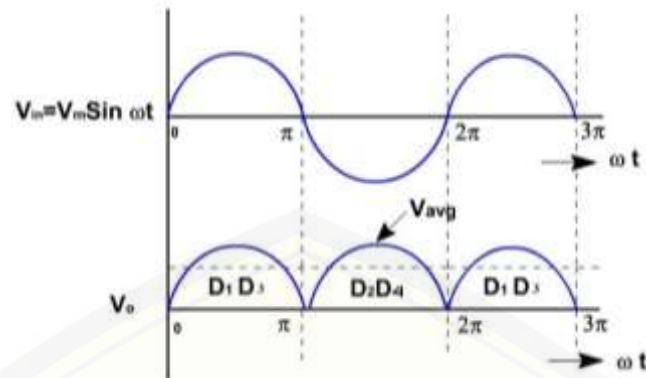
2.7.2 Penyearah Gelombang Penuh (*Full Wave Rectifier*)

Full wave rectifier dapat dibuat dengan 2 macam yaitu dapat menggunakan 4 dioda dan 2 dioda. Untuk membuat penyearah gelombang penuh dengan 4 dioda menggunakan transformator non-CT seperti terlihat pada gambar 9.



Gambar 2.9 Rangkaian *full wave*
Sumber : (Ahmad, 2007)

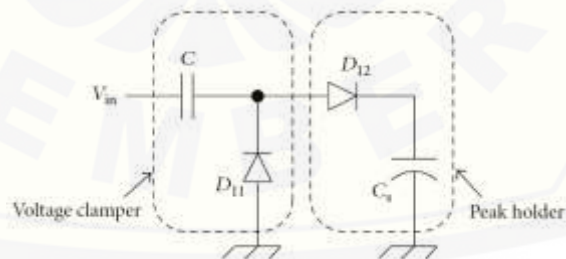
Prinsip kerja dari penyearah gelombang penuh dengan 4 dioda diatas dimulai pada saat *output* transformator memberikan level tegangan sisi positif, maka D1, D4 pada posisi *forward bias* dan D2, D3 pada posisi *reverse bias* sehingga level tegangan sisi puncak positif tersebut akan di lewatkan melalui D1 ke D4. Kemudian pada saat *output* transformator memberikan level tegangan sisi puncak negatif maka D2, D4 pada posisi *forward bias* dan D1, D2 pada posisi *reverse bias* sehingga level tegangan sisi negatif tersebut dialirkan melalui D2, D4. Sinyal gelombang *full wave* di gambarkan seperti pada grafik Gambar 10.



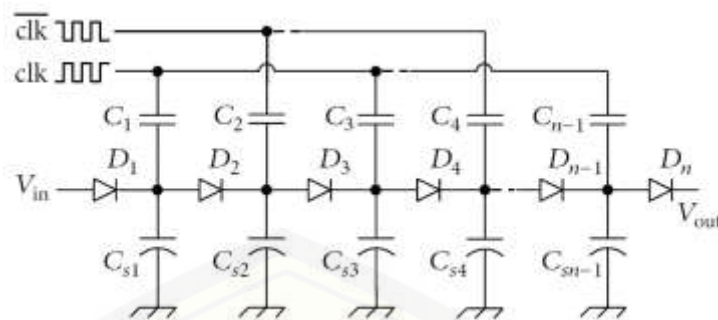
Gambar 2.10 Sinyal *output full wave*
Sumber : (Ahmad, 2007)

2.8 Voltage Multiplier Cockroft-Walton

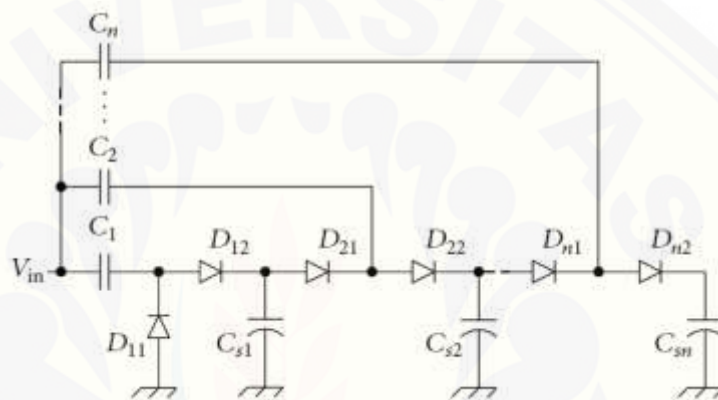
Karena banyaknya berbagai jenis kebutuhan yang diperlukan, maka akan selalu ada permintaan untuk pasokan tegangan yang jauh lebih tinggi. Namun berdasarkan sumber yang dapat diperoleh terbatas sehingga pasokan listrik yang diperlukan tidak dapat memenuhi permintaan tersebut. Oleh karena itu, banyak upaya telah dilakukan untuk mendapatkan tegangan yang lebih tinggi dari tegangan yang disuplai. Beberapa metode paling umum yang digunakan untuk menghasilkan tegangan yang lebih besar dari catu daya adalah transformator *step-up*, *voltage doubler*, *multiplier circuits*, *charge pump circuits*, *switch-capacitor circuits*, dan *boost* atau *step-up converters*. (Toudeskhi, 2014)



Gambar 2.11 Rangkaian *voltage-doubler*
Sumber : (Toudeskhi Arash, 2014)

Gambar 2.12 Rangkaian *dickson charge pump*

Sumber : (Toudeskhi Arash, 2014)

Gambar 2.13 Rangkaian *karthaus-fischer cascade*

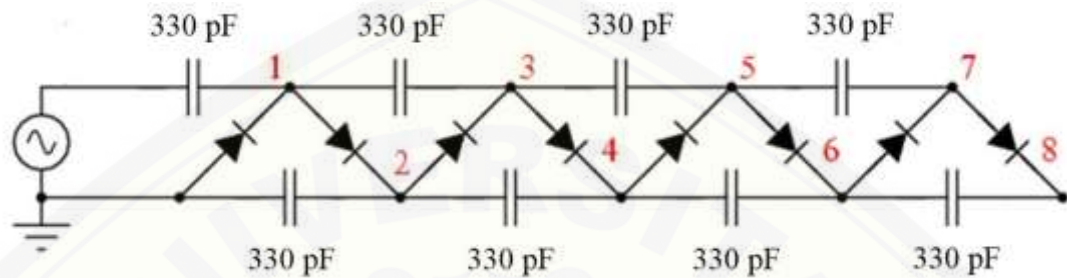
Sumber : (Toudeskhi Arash, 2014)

Voltage Multiplier merupakan teknik dalam *rectifier* untuk mengkonversi tegangan AC menjadi DC yang digunakan dalam banyak aplikasi sirkuit listrik dan elektronik seperti di *microwave ovens*, elektrostatik, alat uji tegangan tinggi dan lain-lain. Teknik ini juga merupakan tipe khusus dari rangkaian dioda penyearah yang berpotensi dapat menghasilkan tegangan *output* lebih besar dari tegangan *input* yang diperoleh. Selain itu teknik ini digunakan untuk menghasilkan tegangan DC yang tinggi dari pasokan tegangan AC yang relatif rendah.

2.8.1 Cockroft-Walton Voltage Multiplier

Rangkaian ini merupakan rangkaian *multiplier* yang sederhana yang di populerkan oleh Cockroft dan Walton. Kemampuannya adalah menciptakan tegangan yang tinggi pada kondisi arus rendah dengan biaya yang murah.

Keuntungan lain dari rangkaian ini selain biaya pembuatan yang murah juga mudah dalam merangkainya. Kelemahan dari rangkaian ini adalah pada regulasi tegangan yang sangat buruk, seperti tegangan akan turun dengan sangat cepat sebagai fungsi pada arus keluaran. (Kuphaldt, 2009)



Gambar 2.14 Rangkaian *cockroft-walton* x8 multiplier

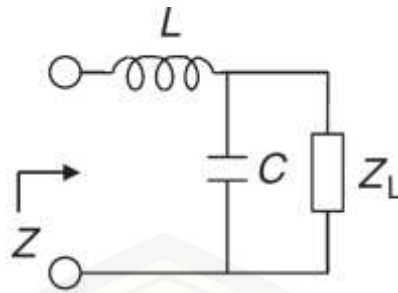
Sumber : (Kuphaldt Tony R., 2009)

Kelebihan dari rangkaian *voltage multiplier* ini ada pada peningkatan daya tinggi yang diperoleh walau dari tegangan yang rendah. Kerutan *output* atau celah negatif sangat minimal, bahkan jika *rectifier* tanpa diberikan beban, tegangan DC yang dihasilkan selalu setabil bahkan naik. Metodi ini menggunakan rangkaian dan komponen yang sederhana, lebih efektif dibanding dengan model sirkuit Villard. Sehingga rangkaian ini paling cocok untuk membuktikan bahwa terdapat tegangan yang dihasilkan dari antena *rectenna* ini.

2.9 Matching Impedance

2.9.1 Impedensi Rectifier

Matching Impedance sering diperlukan dalam desain RF sirkuit untuk memberikan kemungkinan transfer maksimum daya maksimum antara sumber dan beban. Suatu saluran transmisi yang diberi beban yang sama dengan impedansi karakteristik mempunyai SWR (*Standing Wave Ratio*) sama dengan satu, dan mentransmisikan sejumlah daya tanpa adanya pantulan. Selain itu efisiensi transmisi menjadi optimal jika tidak ada daya yang dipantulkan.

Gambar 2.15 Rangkaian L *matching impedance*

Sumber : (Bahl Inder J., 2009)

Rangkaian *matching* tipe L merupakan rangkaian yang menggunakan sebuah kapasitor dan satu buah induktor untuk memaksimalkan transfer daya dari sumber ke beban. Kapasitor dan induktor terhubung membentuk huruf L seringkali digunakan sebagai komponen rangkaian impedance matching. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 15 yang merupakan salah satu dari bermacam macam topologi rangkaian matching impedance. (Bahl, 2009)

$$Q = \left[\frac{R_S}{R_L} - 1 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

$$C_S = \frac{Q}{\omega R_S} \quad (15)$$

$$L_S = \frac{Q R_L}{\omega} \quad (16)$$

Rumus diatas dapat digunakan untuk menentukan besar kapasitor dan induktor yang digunakan dalam rangkaian *L matching impedance*.

2.9.2 Impedansi Antena Helix

Impedansi antena *helix mode axial* dapat didefinisikan sebagai impedansi yang diberikan oleh antena pada terminal sambungannya. Dalam impedansi antena *helix mode axial* menggunakan *peripheral feed* maka impedansi dari antena *helix mode axial* ini menggunakan persamaan (17) berikut (Kraus, 2001) :

$$Z_a = 150 \frac{C}{\lambda} \quad (17)$$

Keterangan :

C = keliling antena helix

λ = panjang gelombang

Dalam impedansi antenna *helix mode axial* memiliki impedansi (Z_a) sebesar 100-200 Ω , sedangkan impedansi kabel *coax* sebesar 50 Ω maka dari itu perlu adanya suatu penyesuaian impedansi antara antenna dengan kabel *coax*. Perhitungan tersebut dapat dilakukan menggunakan persamaan (18) (Faizal, 2011) :

$$Z_{MI} = \sqrt{Z_c Z_a} \quad (18)$$

Keterangan :

Z_c = impedansi kabel *coax* (50 Ω)

Z_a = impedansi antenna *helix*

Untuk perhitungan VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) dari antenna *helix mode axial* yaitu besarnya perbandingan nilai *matching impedance* (Z_{MI}) dengan impedansi kabel *coax* (Z_c). Berikut persamaan (19) VSWR dalam impedansi *matching* antenna *helix mode axial*. (*American Radio Relay League (ARRL)*, 2007).

$$VSWR = \frac{Z_{MI}}{Z_c} \quad (19)$$

Dengan,

$Z_{MI} > Z_c$

Proses pembuatan dari *impedance matching* antenna ditentukan oleh tiga hal yaitu lebar plat (w), tebal plat (t), panjang plat (l) = $\frac{1}{4} \lambda$. Sedangkan perhitungan spasi di atas *ground plane* (h) seperti pada Gambar 13 menggunakan persamaan (20) (Faizal, 2011) :

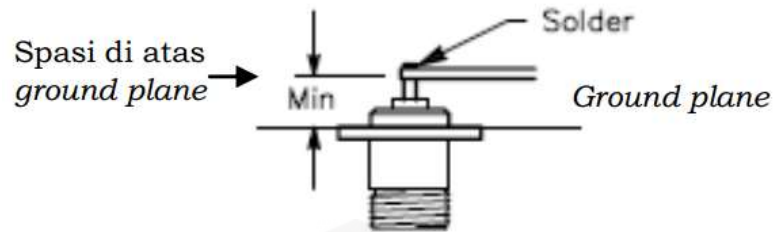
$$h = \frac{(w+t) \ln^{-1} \left(\frac{Z_{MI}}{56} \right)}{7,5} \quad (20)$$

Keterangan :

w = lebar plat (mm)

t = tebal plat (mm)

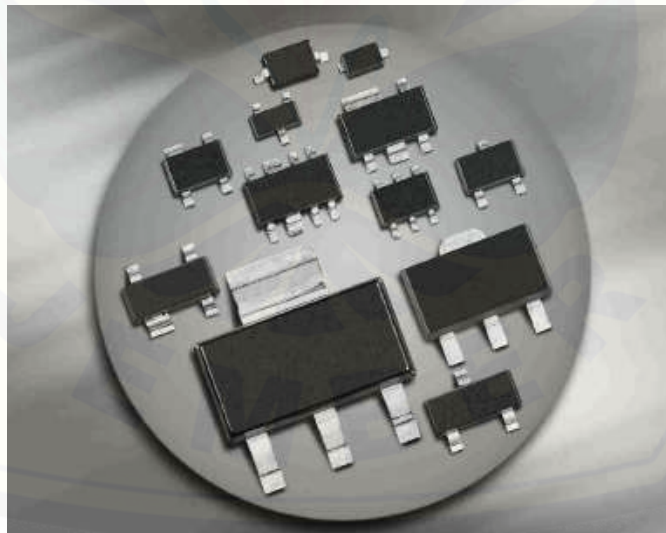
Z_{MI} = *matching impedance* (Ω)

Gambar 2.16 Spasi di atas *ground plane*

Sumber : (Faizal, 2016)

2.10 Dioda Schottky

Dioda *Schottky* adalah tipe khusus dari dioda dengan tegangan yang rendah. Ketika arus mengalir melalui dioda akan ditahan oleh hambatan *internal*, yang menyebabkan tegangannya menjadi kecil di terminal dioda. Dioda normal mulai bekerja jika tegangan *input* antara 0.7-1.7 volt, sementara dioda *Schottky* tegangan antara 0.15-0.45 volt sudah dapat bekerja. Selain itu bahwa frekuensi kerja yang tinggi (500 - 5000 MHz) tidak semua diode dapat bekerja pada daerah itu. Maka dioda yang digunakan adalah diode yang masih linier di frekuensi tinggi.



Gambar 2.17 Seri dioda schottky

Sumber : (Infineon, 2011)

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang tempat dan waktu, ruang lingkup, jenis dan sumber data, serta metode pengumpulan data.

2.1 Waktu dan Tempat Kegiatan

Skripsi yang berjudul tentang “Analisa Perancangan *Rectenna Helix Mode Axial* pada Frekuensi GSM 900 MHz Menggunakan Metode *Voltage Multiplier Cockroft-Walton* dan *L Matching Impedance*”. Pembuatan alat ini akan dimulai pada bulan April 2018.

Tabel 3.1 Rencana Kegiatan Tugas Akhir

No	Rencana Kegiatan	Bulan ke-1				Bulan ke-2				Bulan ke-3				Bulan ke-4			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Pembuatan Proposal																
2	Studi Pustaka																
3	Seminar																
4	Pembuatan Alat																
5	Pengujian Hasil																
6	Seminar Hasil																
7	Ujian Alat																
8	Pembuatan Laporan																

Keterangan:



: Kegiatan dilaksanakan

Pelaksanaan pembuatan alat dan pengujian alat akan dilaksanakan di Laboratorium Telekomunikasi Terapan Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl Slamet Riyadi No.62 Patrang, Jember 68111.

2.2 Ruang Lingkup Kegiatan

Ruang lingkup kegiatan ini berisi tentang batasan-batasan masalah dalam pembuatan alat, dimana batasan-batasan tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Menggunakan antena *helix mode axial* frekuensi kerja GSM 900 MHz.
- b. Menggunakan rangkaian *rectifier cockroft-walton*.
- c. Dioda yang digunakan yaitu jenis dioda *schottky* BAT 17-04 sebanyak 8 buah yang dirangkai menggunakan metode *cockroft-walton* 8x.
- d. Menggunakan rangkaian *L matching impedance* untuk menyamakan impedensi antena dengan rangkaian *rectifier*.
- e. Alat pengukuran yang akan digunakan adalah AVOMeter.

2.3 Jenis dan Sumber Data

Jenis dan sumber data disini akan menjelaskan tentang keseluruhan alat yang akan dibuat, sebagai berikut:

a. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut:

- 1) *Spectrum Analyzer* untuk mengukur karakteristik parameter antena, diantaranya *VSWR*, *return loss* dan *bandwidth*.
- 2) Kawat tembaga, plat tembaga, dan plat alumunium
- 3) *Connector* SMA dengan impedansi karakteristik 50Ω
- 4) Kapasitor 330 pF dan variabel kapasitor
- 5) Induktor 2,5 nH
- 6) Dioda *schottky* BAT 17-04
- 7) Jaringan GSM 900 MHz
- 8) PCB *board*

Alat dan bahan yang digunakan diatas juga mencakup seperti solder, timah, papan PCB, kawat tembaga, arpus, bor dan lain-lain untuk menunjang pembuatan rangkaian ini.

2.4 Blok Sistem

Alat ini merupakan rangkaian elektronika yang di rancang sebagai *rectifier* untuk mengubah daya AC menjadi tegangan DC menggunakan metode *Cockroft Walton* 8x dengan menggunakan 8 buah dioda schottky. Berikut adalah blok diagram perancangan sistem *rectenna* untuk radio frekuensi 900 MHz.

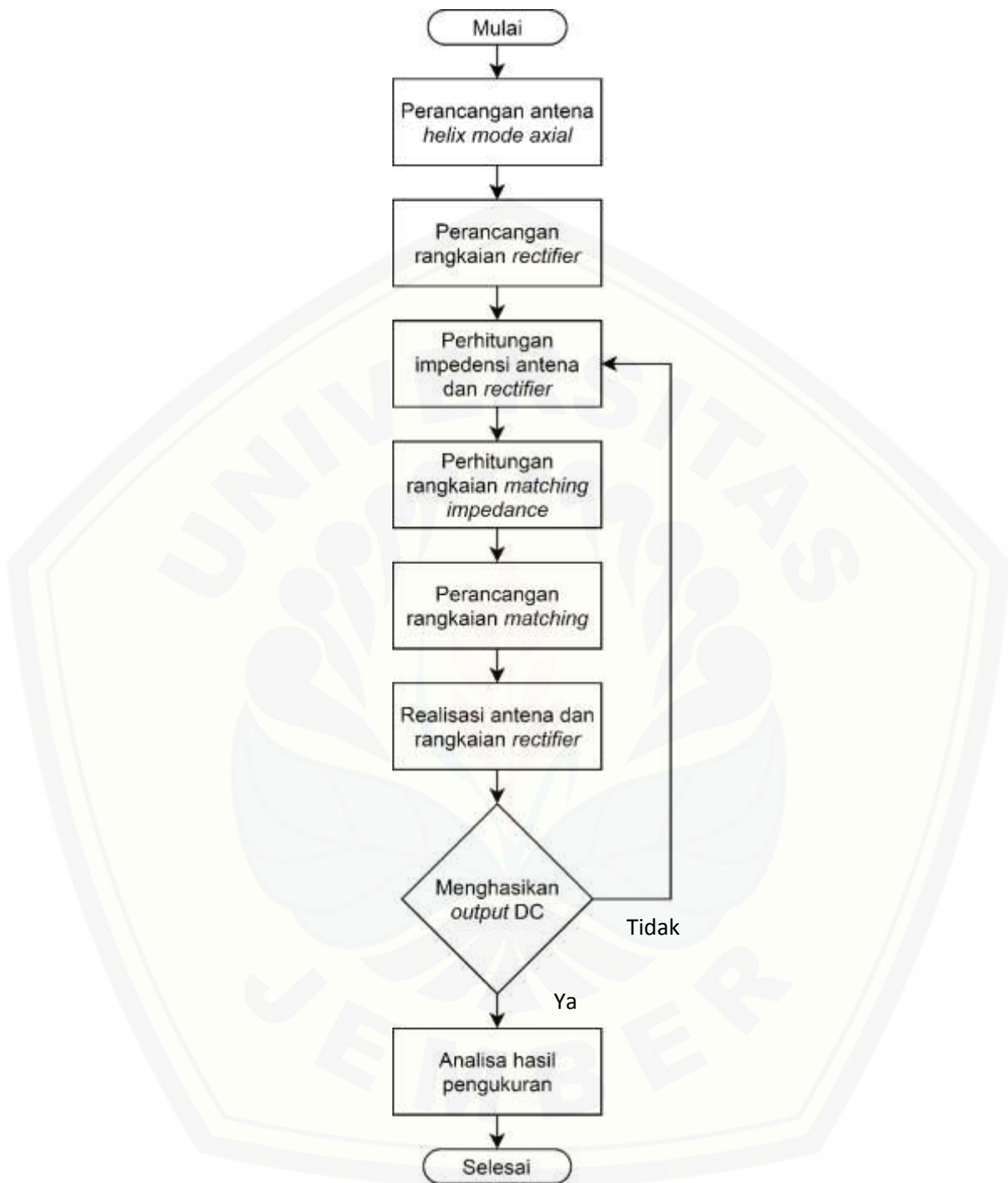


Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem

Gambar 3.1 blok diagram diatas menjelaskan tentang alur dari rancang bangun rangkaian *rectenna* yang diperoleh dari sinyal GSM 900 MHz untuk rangkaian *rectifier* menggunakan metode *Cockroft-Walton* yang diintegrasikan dengan antena *helix mode axial*, namun pada rancang bangun ini diperlukan sebuah rangkaian lagi untuk dapat mentransfer daya menggunakan rangkaian *L matching impedance*. Setelah inti dari *rectenna* sudah terangkai dengan soesifikasi yang sesuai maka selanjutnya tinggal menghitung tegangan *output* dari *rectenna* ini dilakukan dengan menggunakan *AVOmeter*.

2.5 Flowchart

Gambar 3.2 berikut ini merupakan *flowchart* perancangan antena *rectifier Cockroft-Walton*. Didalamnya akan dijelaskan mulai proses perancangan menggunakan simulasi hingga pembuatan rangkaian dan pengukuran berbasis laboratorium. *Flowchart* ini akan dijelesakan secara rinci proses perancangan *prototype rectenna* dari awal perancangan, perhitungan, hingga pengukuran, jenis antena, serta saluran pencatu, yang kemudian didesain dan optimasi menggunakan *software Ni Multisim 14.1* selanjutnya direalisasikan yang kemudian akan diukuran parameter secara laboratorium.



Gambar 3.2 Flowchart Perancangan Rectenna

Pada flowchart Gambar 3.2 terdapat beberapa tahapan diantaranya tahap perancangan rangkaian *rectifier* dengan menggunakan 8 buah dioda schottky yang dirangkai berdasarkan metode *Cockroft-Walton*. Setelah dirangkai tahap kedua menghitung impedansi dari rangkaian *rectifier* agar dapat diperhitungkan berapa

impedensi yang cocok untuk diintegrasikan dengan antena. Langkah selanjutnya adalah menghitung *matching impedance* antara antena dengan rangkaian *rectifier*. Tahap selanjutnya merancang rangkaian *matching impedance* yang dilakukan menggunakan simulasi terlebih dahulu.

Tahap selanjutnya adalah merealisasikan rangkaian dengan membuat sirkuit sesuai dengan perancangan sebelumnya dan memasang komponen-komponen seperti kapasitor, dioda, dan induktor pada papan PCB. Tahap selanjutnya adalah menguji rangkaian yang telah jadi pada sumber radio frekuensi yang bekerja pada frekuensi 900 MHz saat rangkaian yang diuji dapat menghasilkan tegangan DC maka dilanjutkan melakukan analisis hasil, namun jika tidak menghasilkan tegangan DC maka dilakukan lagi dari perhitungan impedansi rangkaian *rectifier* untuk memastikan agar *rectenna* dapat bekerja dengan semestinya.

2.6 Perancangan Desain Alat

Pada tahap perancangan desain alat ini terbagi menjadi dua bagian yaitu perancangan desain antena *helix mode axial* dan perancangan rangkaian *rectifier Cockroft Walton* serta *L matching impedance*. Adapun dalam proses perancangan antena *helix mode axial* menggunakan *software* HFSS v13 yang berfungsi untuk proses desain maupun simulasi karakteristik (parameter) antena. Sedangkan rangkaian *rectifier* *Cockroft Walton* menggunakan *software* Multisim 14.1 yang berfungsi untuk mendesain rangkaian dan simulasi masukan AC hingga menjadi keluaran DC.

3.6.1 Perancangan Desain Antena *Helix Mode Axial*

Pada proses perancangan desain antena *helix mode axial* terdiri dari beberapa tahap yaitu menentukan frekuensi kerja yang diinginkan, jenis kawat, *ground plane* dan *matching impedance* saluran pencatunya.

3.6.1.1 Menentukan Frekuensi Kerja Antena *Helix Mode Axial*

Antena *helix mode axial* dirancang agar bekerja pada frekuensi GSM yaitu 900 MHz. Dalam penelitian ini diharapkan mampu memberikan hasil yang diinginkan sesuai parameter berikut :

1. Frekuensi kerja : 900 MHz (890 – 960 MHz)

2. Impedansi Terminal : 50 ohm *coaxial connector* SMA
3. *Gain* : ≥ 2 dBm

Tabel 3.2 Bahan Antena *Helix Mode Axial*

No	Nama Bahan	Variabel	Dimensi (ukuran)
1	Panjang Gelombang	Diameter	324,324 mm
2	Kawat Tembaga	Jumlah (N)	10 lilitan
3	Kawat Tembaga	Tebal	1,8 mm
4	Plat Aluminium	Tebal	2 mm

3.6.1.2 Perancangan Dimensi Antena *Helix Mode Axial*

Dalam merancang antena *helix* dapat dicari berdasarkan frekuensi kerjanya. Frekuensi center dari GSM 900 MHz ini adalah 925 MHz diperoleh dari nilai tengah 890 – 960 MHz. Adapun desain dari dimensi antena *helix mode axial* dapat dicari menggunakan persamaan berikut, dikutip dari jurnal (Faizal, 2016)

Untuk menghitung panjang gelombang menggunakan persamaan (8) (ARRL (*American Radio Relay League*), 2007) :

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{0,925 \times 10^9} = 0,3243 \text{ m} = 324,324 \text{ mm}$$

Kemudian untuk menghitung diameter (D) menggunakan persamaan (9) (Stutzman & Thiele, 1998):

$$D = \frac{\lambda}{\pi}$$

$$D = \frac{324,324}{3,14} = 103,236 \text{ mm}$$

Untuk keliling antena (C) menggunakan persamaan (10) (Kraus, 2001) :

$$C \approx \lambda \quad \text{atau} \quad C \approx \pi \times D$$

$$C \approx 324,324 \text{ mm}$$

Nilai C kurang lebih satu kali panjang gelombang dari frekuensi kerjanya, minimum $0,7 \lambda$, maksimum $1,3 \lambda$ dan optimalnya adalah 1λ . Sementara sudut jepit

atau *pitch angel* paling optimal adalah $12^\circ - 14^\circ$. Sehingga jarak antar lilitan (S) menggunakan persamaan yaitu (11) (Kraus, 2001) :

$$S = C \tan a$$

$$S = 324,324 \tan 12^\circ = 68,937 \text{ mm}$$

Lalu untuk panjang total atau panjang vertikal antenna dihitung menggunakan persamaan (12) (Kraus, 2001) :

$$A = N \cdot S$$

$$A = 8 \cdot 68,937 = 551,5 \text{ mm}$$

Diameter *ground plane* bervariasi namun tidak melebihi dari rentang $0,8 \lambda - 1,1 \lambda$. Menggunakan persamaan (13) (ARRL (*American Radio Relay League*), 2007):

$$D_{gp} = 0,95 \lambda$$

$$D_{gp} = 0,95 \times 324,324 = 308,108 \text{ mm}$$

Tabel 3.3 Dimensi Antena *Helix Mode Axial* dengan Perhitungan Matematis

No	Nama (parameter)	Variabel	Dimensi (ukuran)
1	Panjang gelombang	λ	324,324 mm
2	Diameter antenna <i>helix</i>	D	103,326 mm
3	Keliling antenna <i>helix</i>	C	324,324 mm
4	<i>Pitch Angle</i>	α	12°
5	Jumlah lilitan	N	8
6	Jarak antar lilitan	S	68,937 mm
7	Panjang total antenna	A	551,5 mm
8	Diameter <i>ground plane</i>	D_{gp}	308,108 mm

3.6.1.3 Perancangan *Matching Impedance* Antena *Helix Mode Axial*

Dalam mendesain antenna *helix mode axial* perlu adanya *matching impedance* supaya hasil yang didapatkan maksimal. Dalam impedansi antenna *helix* menggunakan *peripheral feed*, maka impedansi dari antenna *helix* ini menggunakan persamaan (14) berikut (J D Kraus, 2001) :

$$Z_a = 150 \frac{c}{\lambda}$$

$$Z_a = 150 \frac{324,324}{324,324} = 150 \Omega$$

Dalam impedansi antenna *helix* memiliki impedansi (Z_a) sebesar 150 Ω , sedangkan impedansi kabel *coax* sebesar 50 Ω maka dari itu perlu adanya suatu penyesuaian impedansi antara antenna dengan kabel *coax*. Perhitungan tersebut dapat dilakukan menggunakan persamaan (15) (Faizal, 2011) :

$$Z_{MI} = \sqrt{Z_c Z_a}$$

$$Z_{MI} = \sqrt{50 \times 150} = 86.6 \Omega$$

Dalam proses pembuatan *impedance matching* antenna ditentukan oleh tiga hal yaitu lebar plat (w) = 4mm, tebal plat (t) = 0,2mm, panjang plat (l) = $\frac{1}{4} \lambda = 81,081$ mm, lebar dan tebal plat dipilih mengingat bahan yang dijual di pasaran. Sedangkan perhitungan spasi *ground plane* (h) menggunakan persamaan (17) (Faizal, 2011) :

$$h = \frac{(w+t) \ln^{-1} \left(\frac{Z_{MI}}{56} \right)}{7,5}$$

$$h = \frac{(4+0.2) \ln^{-1} \left(\frac{86.6}{56} \right)}{7,5}$$

$$h = \frac{4,2 \ln^{-1} \left(\frac{86.6}{56} \right)}{7,5} \quad \text{Exponen rule : } a^{-1} = \frac{1}{a}$$

$$h = \frac{4,2 \times \frac{1}{\ln \left(\frac{86.6}{56} \right)}}{7,5}$$

$$h = \frac{\frac{4,2}{\ln(1,546)}}{7,5}$$

$$h = \frac{9,634}{7,5} = 1,284 \text{ mm}$$

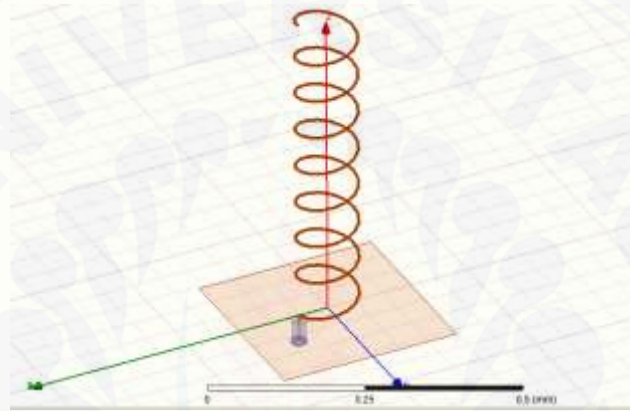
Tabel 3.4 Data *Matching Impedance* Antena *Helix Mode Axial*

No	Nama (parameter)	Variabel	Dimensi (ukuran)
1	Impedansi Kabel	Z_c	50 Ω
2	Impedansi antenna	Z_a	150 Ω
3	<i>Matching Impedance</i>	Z_{MI}	86.6 Ω
4	Lebar konduktor (dipilih)	W	4 mm
5	Tebal konduktor (dipilih)	T	0,2 mm

6	Panjang konduktor	L	81,081 mm
7	Spasi di atas <i>ground plane</i>	H	1,284 mm

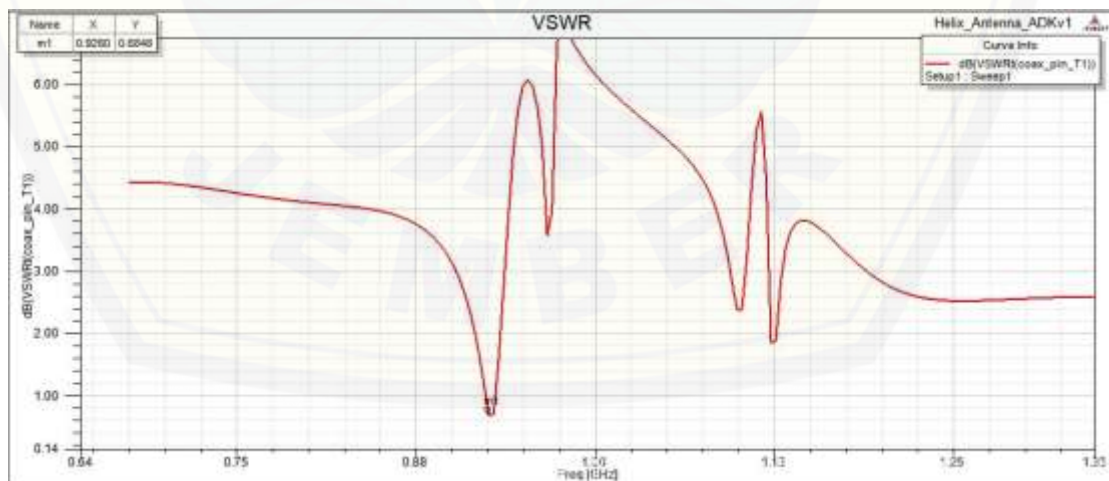
3.6.1.4 Hasil Desain Perancangan Antena *Helix Mode Axial*

Pada proses mendesain antena *helix mode axial* dengan RHCP (*Right Handed Circular Polarization*) menggunakan *software* Ansoft HFSS v13. Dalam perancangan antena *helix mode axial* berdasarkan perhitungan matematis tabel 6 dan 7 yaitu :



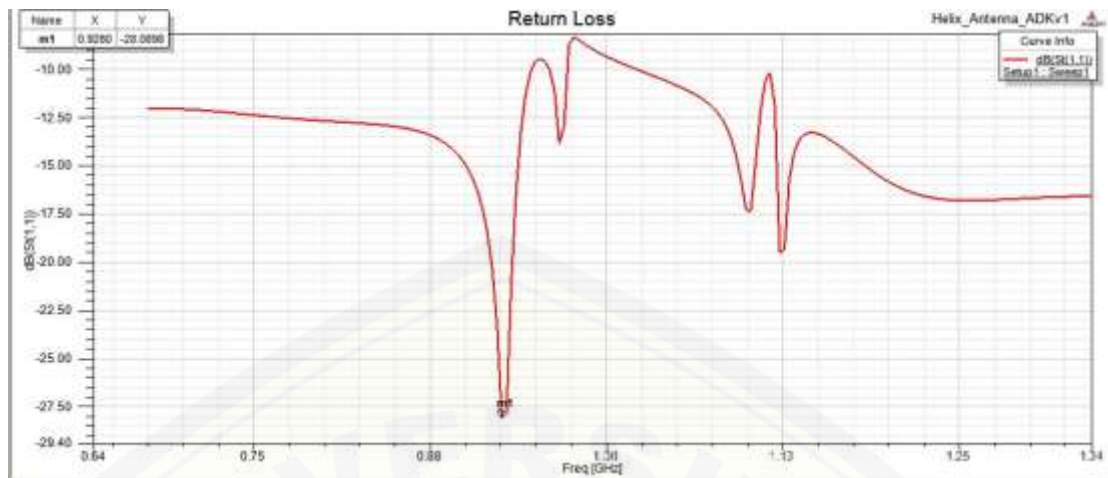
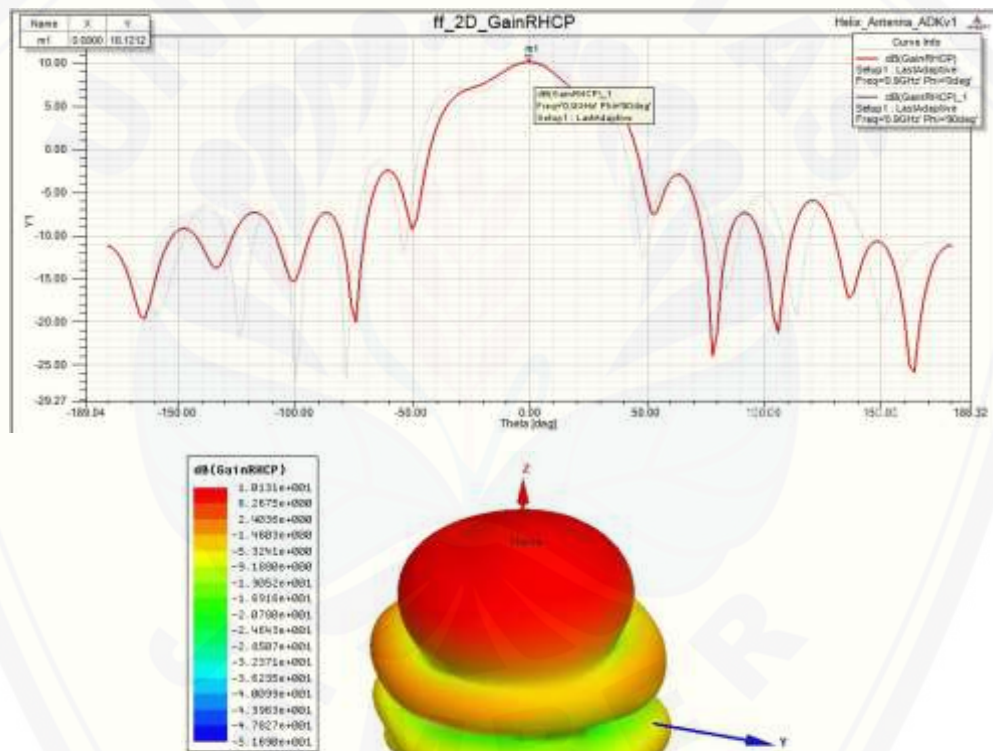
Gambar 3.4 Antena *helix mode axial*

Pada perancangan antena *helix mode axial* frekuensi kerjanya dapat dilihat pada Gambar 21 berikut :



Gambar 3.5 Frekuensi kerja antena *helix mode axial*

Pada perancangan desain antena *helix mode axial* diperoleh nilai gain sebesar :

Gambar 3.6 Grafik nilai *return loss*Gambar 3.7 *Gain* 2D dan 3D

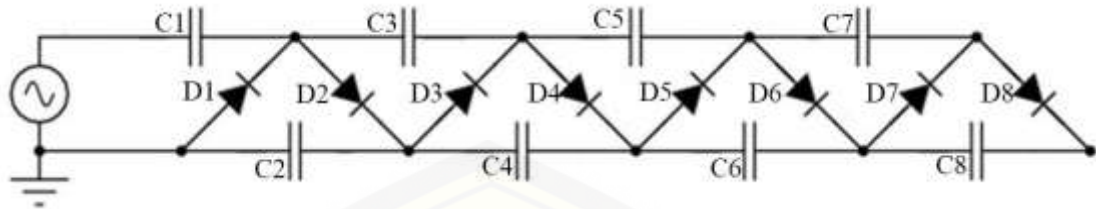
Dari Gambar 3.5, 3.6 dan 3.7 menunjukkan frekuensi yang bekerja antara 900 MHz dan nilai *gain* dari desain antenna *helix mode axial* pada frekuensi tersebut sebesar 11 dBm. Dimana untuk nilai standart dari $gain \geq 2\text{dBm}$ sehingga untuk perancangan desain antenna telah memenuhi kriteria.

Tabel 3.5 Hasil Iterasi Antena *Helix Mode Axial*

No	Dimensi Antena					
	Diameter Helix (mm)	Jarak Spasi (mm)	Jumlah Lilitan (mm)	Diameter Kawat (mm)	Freq (Hz)	Return Loss (dB)
1	70,857	71,87	10	3	1896	-19
2	53,403	71,87	10	2,5	1895	-26
3	54,047	71,87	10	2,4	1891	-28
4	59,105	71,87	10	2,8	1863	-26
5	63,500	71,87	10	1,2	1691	-22
6	65,323	71,87	10	2,6	1656	-20
7	65,645	71,87	10	1,2	1645	-27
8	67,235	71,87	8	1,2	1614	-23
9	71,917	78,31	8	2,4	1596	-27
10	79,392	78,31	8	1,9	1567	-28
11	81,201	64,38	8	2,5	1560	-20
12	83,084	64,38	8	2,6	1556	-28
13	87,266	64,38	8	1,3	1551	-26
14	87,627	64,38	8	1,8	1485	-27
15	91,714	64,38	8	2,1	1429	-26
16	92,167	76,55	8	2,3	1322	-29
17	94,583	61,40	8	1,5	1264	-18
18	95,636	68,93	8	2,0	1127	-24
19	98,203	68,94	8	1,0	1119	-27
20	99,395	68,95	8	2,6	1026	-23
21	103,326	68,93	8	1,8	926	-28
22	110,000	70,00	8	1,5	716	-22

Dari hasil iterasi antena dengan mengubah dimensi sehingga mencapai hasil yang mendekati nilai yang ditentukan dalam spesifikasi antena GSM 900 Mhz dalam rentang 890 MHz sampai dengan 960 MHz. Dengan nilai VSWR ≤ 2 dan return loss ≤ -10 sesuai dengan iterasi nomor 21. Selanjutnya hasil antena ini yang akan digunakan untuk fabrikasi.

3.6.2 Perancangan Desain Rangkaian *Rectifier*



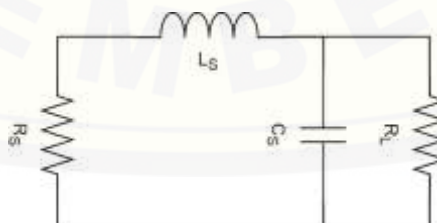
Gambar 3.8 Rangkaian *cocroft-walton*

Perancangan rangkaian *rectifier cocroft-walton* ini menggunakan tipe dioda schottky BAT 17-04 yang memiliki nilai impedensi sebesar $1,77526 - j148,10923 \Omega$ dan kapasitor 330 nano farad yang diperoleh dari pengukuran dalam simulasi NI Multisim 14.1. Untuk menentukan nilai total impedensi rangkaian diperoleh dari hasil simulasi, komponen dioda memiliki nilai imajiner yang artinya akan sulit untuk dicari satu persatu dengan cara perhitungan seri-pararel dioda dan kapasitor ini.

Single Frequency AC			
900 MHz uji impedensi			
Single Frequency AC Analysis @ 9e+008 Hz			
	Variable	Real	Imaginary
1	I(C11:1) I(PR.1)	102.08728 u	17.46948 m
2	V(11) V(PR.1)	1.00000	0.00000e+000
3	V(PR.1)/I(PR.1)	334.50043 m	-57.24072

Gambar 3.9 Impedensi total rangkaian *rectifier* dalam simulasi Multisim v.14

Dari nilai tersebut dapat dihitung nilai kapasitor dan induktor yang akan digunakan untuk rangkaian *L matching impedance*.



Gambar 3.10 Rangkaian *L matching impedance*

Untuk menentukan Q factor dari rangkaian tersebut menggunakan persamaan (14) (Bahl Inder J., 2009)

$$Q = \left[\frac{50}{0,3345} - 1 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\approx 12,2$$

Diketahui bahwa R_S atau beban saluran transmisi kabel coaxial adalah 50Ω dan R_L atau beban dari rangkaian *rectifier* adalah $0,1667 \Omega$ dipakai tanpa mempedulikan nilai imajinerinya. Selanjutnya mencari nilai dari kapasitor rangkaian *L matching impedance*. Menggunakan persamaan (15) (Bahl Inder J., 2009)

$$C_S = \frac{12,2}{2\pi \times 9 \times 10^8 \times 50}$$

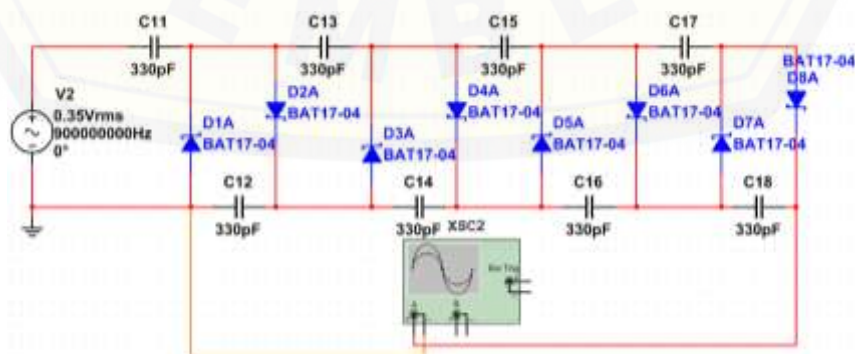
$$\approx 43,1 \text{ pF}$$

Nilai ω merupakan $2\pi \times f$ sehingga diperoleh nilai kapasitor tersebut, nilai ini tidak sepenuhnya valid karena mengabaikan nilai imajiner yang dimiliki dioda dan kapasitor dalam rangkaian *rectifier*. Sehingga pada pembuatan alat ini nantinya akan menggunakan metode *tune* dengan variabel kapasitor yang nilainya dapat sewaktu waktu diubah untuk menentukan impedensi yang cocok.

Pehitungan selanjutnya untuk mencari nilai induktor yang akan digunakan pada rangkaian *L matching impedance* menggunakan persamaan (15) (Bahl Inder J., 2009). Dengan nilai beban rangkaian *rectifier* sebesar $0,3345 \Omega$.

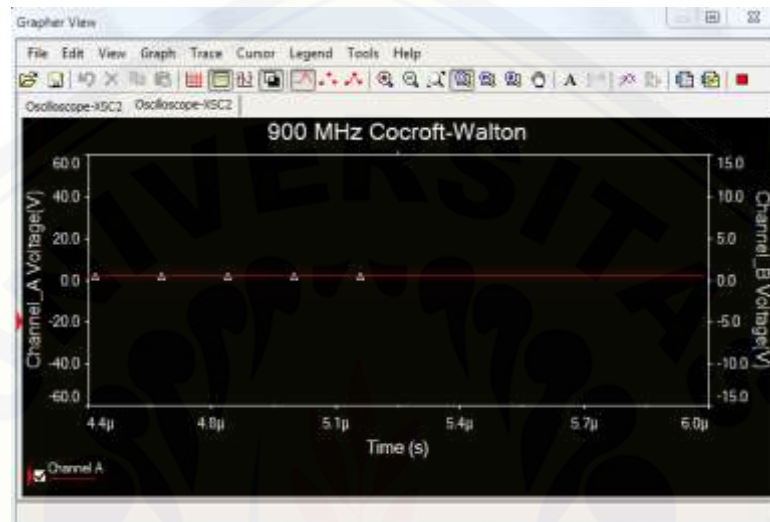
$$L_S = \frac{12,2 \times 0,3345}{2\pi \times 9 \times 10^8}$$

$$\approx 0,72 \text{ nH}$$

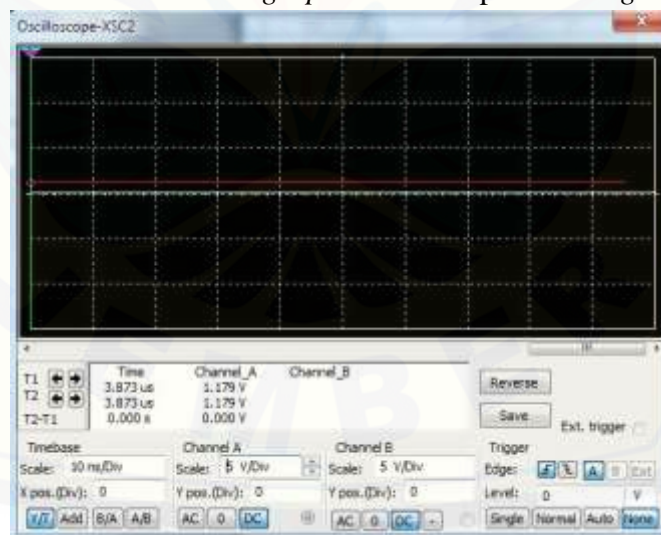


Gambar 3.11 Rangkaian *rectifier* tanpa *matching impedance*

Pada gambar 3.11 dilakukan simulasi pada *software NI Multisim 14* untuk percobaan *rectifier*. Rangkaian diatas merupakan jenis rangkaian *voltage multiplier* yang artinya dapat menggandakan tegangan menggunakan metode *cocroft-walton* dengan delapan buah dioda *schottky* tipe BAT 17-04 sebagai penyearah dan kapasitor 330pF.



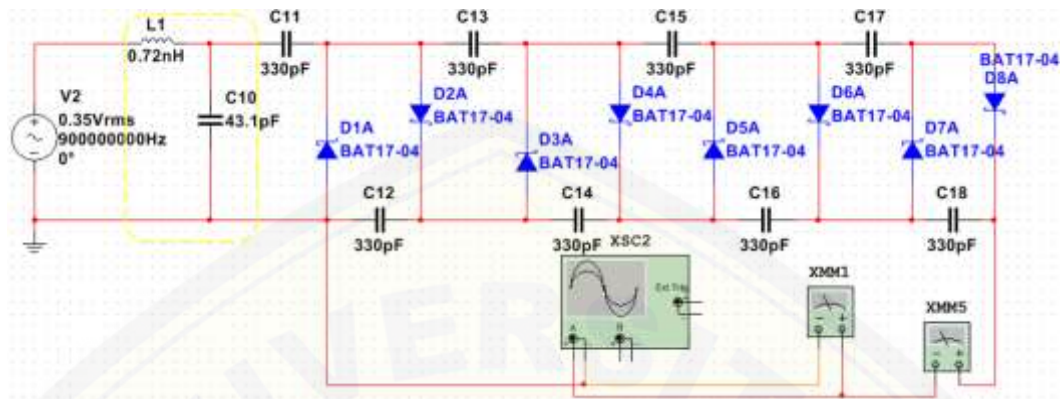
Gambar 3.12 Hasil simulasi *grapher view* tanpa *matching impedance*



Gambar 3.13 Hasil *output* tegangan pada simulasi *oscilloscope* tanpa *matching impedance*

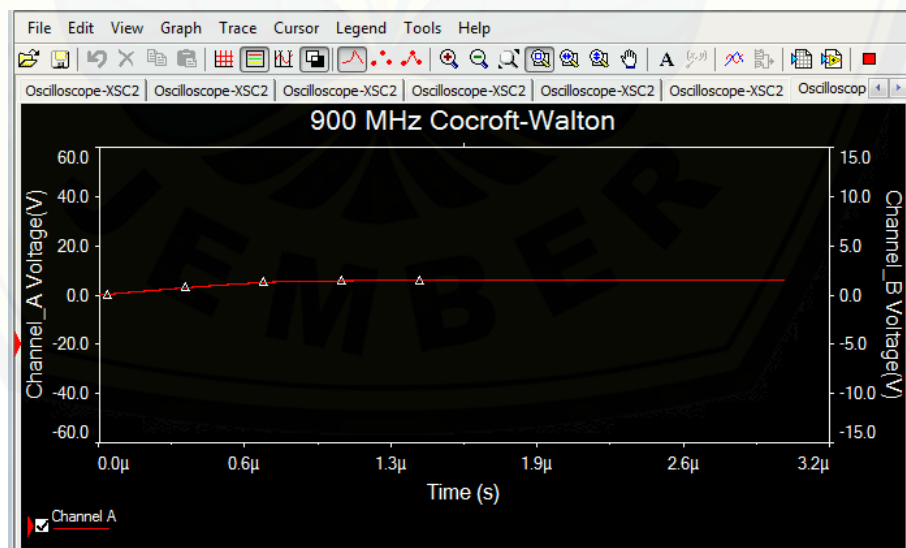
Secara garis besar dapat dilihat tegangan yang dihasilkan rangkaian *rectifier* ini adalah sebesar 1,179 V. Selanjutnya akan dilakukan simulasi dengan menggabungkan rangkaian *rectifier* dan rangkaian *matching impedance* dari hasil

yang telah dihitung sebelumnya untuk nilai nilai kapasitor dan induktor yang akan digunakan.

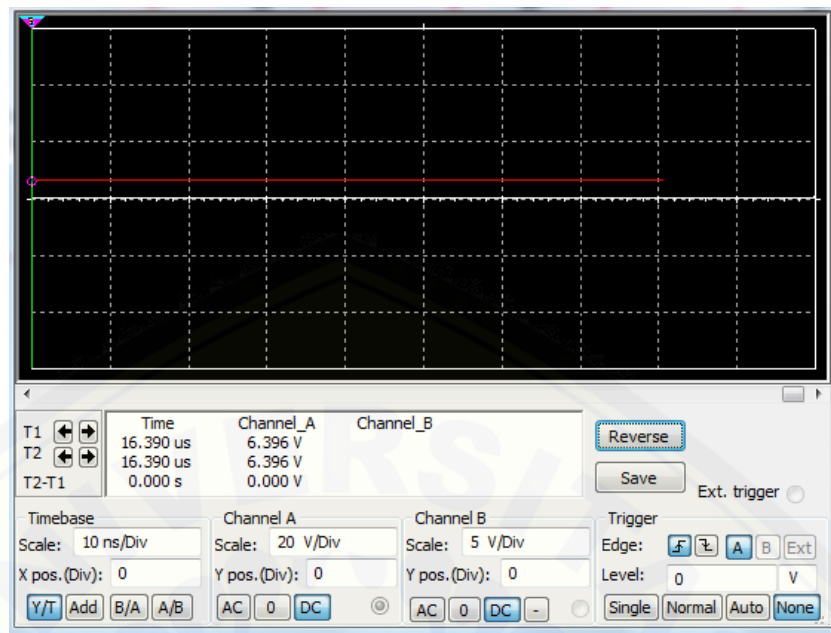


Gambar 3.14 Rangkaian rectifier menggunakan *matching impedance*

Selanjutnya pada gambar 3.14 rangkaian kali ini menggunakan rangkaian *matching impedance mode L* yang membantu mengoptimalkan transfer daya dari antenna yang memiliki beban 50Ω yang berbeda dengan rangkaian *rectifier*. Nilai yang digunakan pada rangkaian diatas adalah hasil dari perhitungan berdasarkan persamaan (15) untuk induktor adalah $0,72 \text{ nH}$ dan kapasitor $43,1 \text{ pF}$ menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan tanpa menggunakan *L matching impedance*. Berikut ini adalah hasil menggunakan rangkaian *matching impedance*.

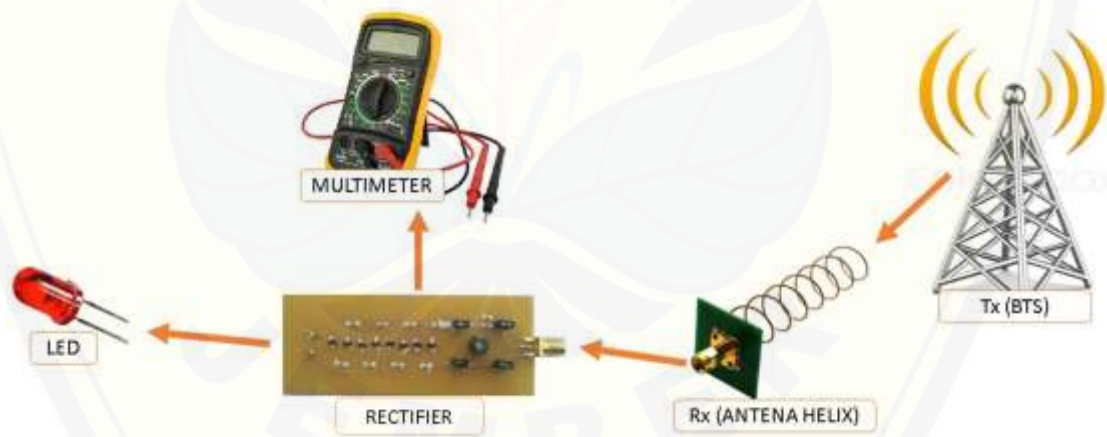


Gambar 3.15 Hasil simulasi *grapher view* menggunakan *matching impedance*



Gambar 3.16 Hasil *output* tegangan pada simulasi *oscilloscope* menggunakan *matching impedance*

3.6.3 Perancangan Desain Sistem *Energy Harvesting*



Gambar 3.17 Sistem *Energy Harvesting*

Perancangan desain sistem *energy harvesting* ditunjukkan pada gambar 33 dengan BTS sebagai sumber energi yang nantinya akan diterima oleh *receiver* berupa antenna *helix mode axial* dan diteruskan menuju *rectenna* sehingga dapat dianalisa apakah gelombang elektromagnetik dari BTS dapat menjadi energi alternatif. Jarak antar BTS dengan antenna penerima *helix mode axial* juga akan dibedakan sehingga dapat diketahui pengaruhnya terhadap daya terima. Pengujian

output akhir menggunakan *multimeter digital* dan juga diuji menggunakan lampu LED merah, tegangan yang dihasilkan ada tidaknya dan juga dapat tidaknya menyalakan lampu tersebut.



Gambar 3.18 Area Coverage BTS Telkomsel di Kampus UNEJ

Penentuan frekuensi kerja dari antenna helix yang telah dirancang, diperlukan pemancar BTS (Tx) yang sesuai dengan spesifikasi antenna tersebut. Sehingga memastikan pemancar dengan frekuensi kerja diantara 900 MHz adalah jaringan GSM 2G dan 3G yaitu pemakainannya antara 900 MHz dan 1800 MHz. Gambar 34 adalah gambar yang menunjukkan area di Jember mana saja yang tercover oleh jaringan seluler, dalam gambar ini khususnya oleh operator telkomsel.



Gambar 3.19 Jarak Antara Rx dengan Tx

Pengujian *rectenna* diperlukan parameter level daya berbeda yang dikirim oleh *tranceiver* kepada *receiver* antenna *helix mode axial*, namun dikarenakan keterbatasan prasarana yang mendukung maka dilakukan perbedaan pada jarak dari Tx menuju Rx dengan asumsi bahwa semakin jauh jarak transmisi sebuah gelombang elektromagnetik maka semakin lemah juga level daya yang di terima oleh Rx. Sehingga pada pengujian *rectenna* di lapangan secara langsung dibedakan menjadi beberapa jarak, salah satunya seperti pada gambar 35 diatas.

Tabel 3.6 Pengujian *Rectenna* tanpa *L matching impedance*

No	Jarak antara <i>rectenna</i> dari Tx	V DC (volt)	I DC (μ A)	LED
1				
...				

Tabel 3.7 Pengujian *Rectenna* menggunakan *L matching impedance*

No	Jarak antara <i>rectenna</i> dari Tx	V DC (volt)	I DC (μ A)	LED
1				
...				

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian prototype *rectenna* menggunakan antena *helix mode axial* dan *rectifier cockroft-walton* yang telah dibangun, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada perancangan dan fabrikasi antena *helix mode axial* memiliki nilai parameter yang telah memenuhi standar bekerjanya sebuah antena pada umumnya, namun dengan hasil yang berbeda dari perancangan dan simulasi. Hasil simulasi bekerja pada frekuensi 900 MHz dengan nilai *return loss* sebesar -28 dB dan VSWR sebesar 0,68. Adapun pada hasil fabrikasi justru memiliki frekuensi kerja pada 1900 MHz dengan parameter *return loss* -20,3 dB dan VSWR sebesar 1,22. Dalam perancangan *rectenna* diperlukan antena yang dapat bekerja pada frekuensi GSM sehingga frekuensi 1900 MHz dapat digunakan pada alat ini berdasarkan teori toleransi antena.
2. Dalam perancangan *rectenna* ada 3 parameter yang penting selain standar antena *return loss* agar dapat bekerja dengan baik, diantaranya gain dan bandwidth. Sebisa mungkin bandwidth sebuah antena *rectenna* mencakup *bandwidth* yang lebar untuk mengoptimalkan level daya yang akan diproses oleh *rectifier*. Gain antena *helix mode axial* berada pada frekuensi 1900 MHz sebesar 12,95 dan juga frekuensi 2080 Mhz dengan nilai 13,25. Sedangkan *bandwidth* 306,07 MHz yang mencakup dari frekuensi 1794 MHz sampai 2100 MHz. Gain yang besar ini juga dipengaruhi oleh pola radiasi sebuah antena, tipe antena *directional* identik dengan *gain* yang besar. Dari hasil uji laboratorium juga menunjukkan bahwa antena *helix mode axial* memiliki pola radiasi *directional*.
3. Analisis hasil pengujian *output* tegangan DC dari kedua rangkaian menunjukkan hasil yang berbeda, secara umum *rectifier* dengan rangkaian *matching impedance* menghasilkan tegangan lebih tinggi dari *rectifier* tanpa *matching impedance*. Nilai *output* tegangan 85,3 mV dengan jarak 100 m, 79,1 mV dengan jarak 200 m, dan 22,7 mV pada jarak 300m selebihnya *rectenna* tidak dapat menerima cukup level daya untuk di konversi menjadi tegangan DC.

4. Rancangan *prototype rectenna* masih terbelang jauh dari target untuk dapat memanen energy dari gelombang elektromagnetik dengan nilai paling besar 85,3 mV dan masih belum dapat menyalakan lampu LED yang memiliki tegangan minimal 2 volt.

5.2 Saran

Dari hasil perancangan *rectenna* menggunakan antena *helix mode axial* dan *rectifier cockroft-walton* berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan. Penulis mempunyai beberapa saran untuk penelitian lebih lanjut.

1. Penggunaan *diode* BAT 17-04 yang lebih sedikit dapat megurangi rugi-rugi *forward bias*.
2. Menggunakan jenis antena yang berbeda atau jenis *rectifier voltage multiplier* yang berbeda.
3. *Grounding* rangkaian *rectifier* dan antena yang lebih tebal akan lebih baik dan stabil pada saat berhubungan dengan gelombang elektromagnetik.
4. Ketelitian dalam fabrikasi antena sangat mempengaruhi karakteristik antena.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Jayadin. 2007. ELDAS, Ilmu Elektronika. Jakarta.
- Aviantoro, A. P., Wijanto H., & Wahyu Y. 2016. Perancangan dan Implementasi Rectifier Antena dengan Menggunakan Teknik Voltage Multiplier Untuk Frekuensi UHF. Bandung: Universitas Telkom.
- Bahl, I. J. 2009. Fundamentals of RF and Microwave Transistor Amplifiers. Canada: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Balanis, C. A. 2005. ANTENNA THEORY ANALYSIS AND DESIGN. Canada: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Banerjee, Y. 2015. Comparative Study of Resonant Frequency of Rectangular Microstrip Antenna. Krishi Sanskriti Publications. Gauhati University.
- Bracewell, R. N. 1961. Tolerance Theory of Large Antennas. IRE Tr. Ant. Prop., AP-9. 49.
- Cao, Yanjie, dkk. 2016. A 2.4GHz Circular Polarization Rectenna with Harmonic Suppression for Microwave Power Transmission. IEEE. Baijing: Beijing University of Post and Telecommunication, China.
- Dwijayatno, F. M., Christyono Y., & Santoso I. 2014. Perancangan Antena Helix untuk Meningkatkan Daya Terima Sinyal GSM yang Memiliki Level Daya Rendah. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Faizal, Iwan. 2016. Pengembangan Antena Helix X-band 8,2 GHz untuk Satelit Mikro (Development of 8.2 GHz Helical Antenna for Micro Satellite). Bogor: Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Indonesia.
- Ho, Dhin-Khan. 2016. Dual-Band Rectenna for Ambient RF Energy Harvesting at GSM 900 MHz and 1800 Mhz. IEEE. Hanoi: Hanoi University of Science & Technology (HUST), Vietnam.
- Infineon. 2011. BAT 17 Series DS. Data Sheet. Infineon Technology AG. 81726, Germany.
- Kraus, J. D. 2001. Antennas, Second Edition, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, ISBN: 0-07-035422-7.
- Kuphaldt, T. R. 2009. Lesson In Electric Circuits, Volume III - Semiconductors.

Fifth Edition. Open Book Project.

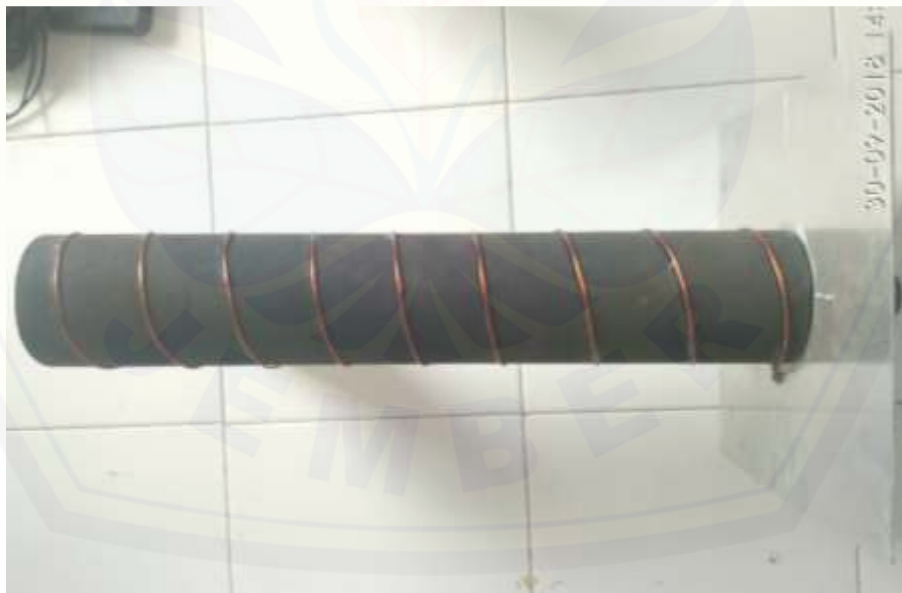
- Lenin, Anujin. 2014. Design and Simulation of Energy Harvesting System Using GSM Signal. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology (IJLTET)*
- Nugraha, R., Sunarya U., & Wahyu Y. 2011. Perancangan dan Realisasi Rectenna (Rectifier Antena) Untuk Frekuensi 900 MHz - 5 Mhz Sebagai Sumber Daya Alternatif Untuk Mengisi Baterai Handphone. Bandung: Universitas Telkom.
- Palazzi, V., dkk. 2017. Performance Analysis of a Ultra-Compact Low-Power Rectenna in Paper Substrate for RF Energy Harvesting. Centre Tecnologic de Telecomunicacions de Catalunya (CTTC). Perugia: University of Perugia, Italy.
- Palupi, D. R., Yuwono R., & Mustofa A. 2014. Perancangan dan Analisis Rangkaian Rectifier pada Rectenna Menggunakan Antena Televisi. Malang: Universitas Brawijaya.
- Patel, A. P. dan Rathod Mulav. 2016. Design, Simulation and Construction of Cockroft Walton Voltage Multiplier. GRDJE. Department of Electrical Engineering S.V.I.T (VASAD).
- Rahim, Tariq. 2015. An Overview of Helix Antenna and Its Design, *Theory of Helix Antenna*. School of Electronic and Information. China
- Santosa, R. P., Yuwono R., & Mustofa A. 2015. Perancangan Rectifier Antenna Microstrip Array Tiga Elemen untuk Pemanen Energi Elektromagnetik pada Frekuensi GSM 900 MHz. Malang: Universitas Brawijaya.
- Toudeskhi, Arash, dkk. 2014. Devolupment of a New Cascade Voltage-Doubler for Voltage Multiplication. Hindawi. Serdang: University Putra Malaysia, Malaysia.
- Wirawan, A.P., Setijadi E., & Wirawan. 2015. Perancangan Integrated Rectenna pada Frekuensi 2.4 GHz untuk Pencatuan Daya Nirkabel pada Perangkat Elektronik dalam Ruangan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

LAMPIRAN

A. Dokumentasi Foto dan Alat



Gambar 1 Antena Helix Mode Axial Tampak Atas



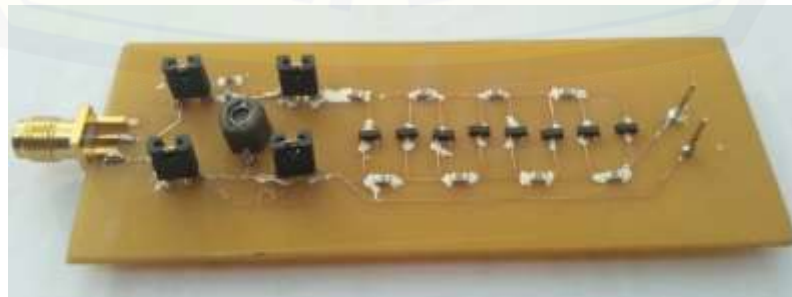
Gambar 2 Antena Helix Mode Axial Tampak Samping



Gambar 3 Proses Pembuatan PCB Rectifier Cockroft-Walton



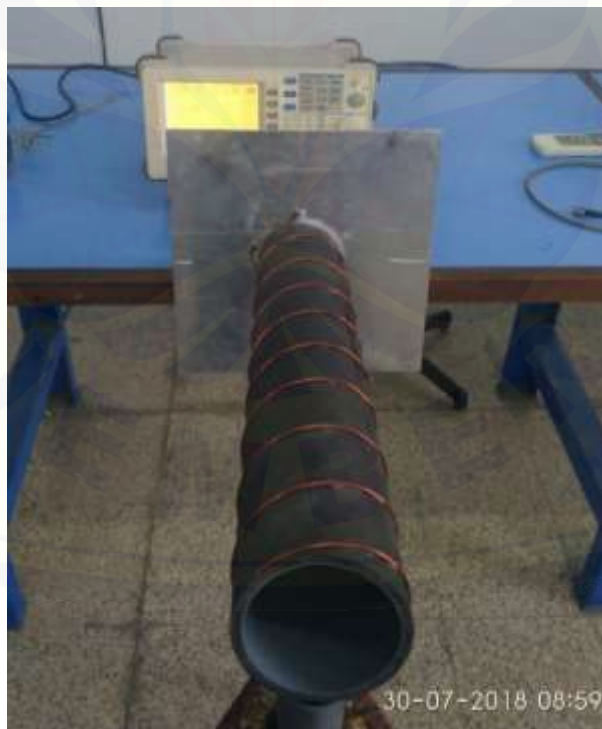
Gambar 4 Proses Perakitan Komponen Rectifier Cockroft-Walton



Gambar 5 Rectifier Cockroft-Walton 8 Dioda



Gambar 6 Spectrum Analyzer



Gambar 7 Proses Pengujian di Laboratorium



Gambar 8 Proses Pengujian Level Referensi



Gambar 9 Directional Coupler



Gambar 10 Frekuensi Generator



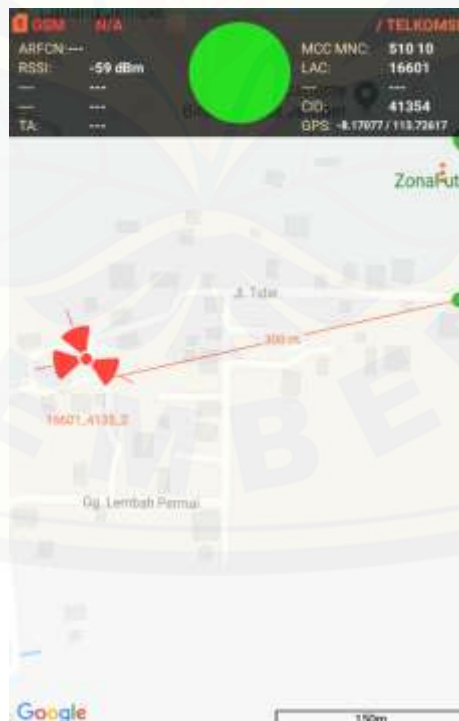
Gambar 11 Proses Pengukuran *Gain* dan Pola radiasi



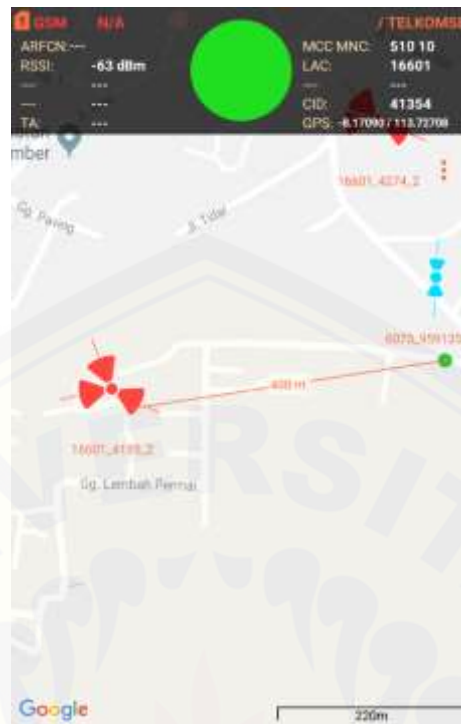
Gambar 12 Jarak Pengujian 100 m dari BTS



Gambar 13 Jarak Pengujian 200 m dari BTS



Gambar 14 Jarak Pengujian 300 m dari BTS



Gambar 15 Jarak Pengujian 400 m dari BTS



Gambar 16 Jarak Pengujian 500 m dari BTS



Gambar 17 Rectifier dengan Rangkaian Matching



Gambar 18 Rectifier tanpa Rangkaian Matching



Gambar 19 Hasil Tegangan DC 100 m Menggunakan Rangkaian Matching



Gambar 20 Hasil Tegangan DC 200 m Menggunakan Rangkaian Match



Gambar 21 Hasil Tegangan DC 300 m Menggunakan Rangkaian Match



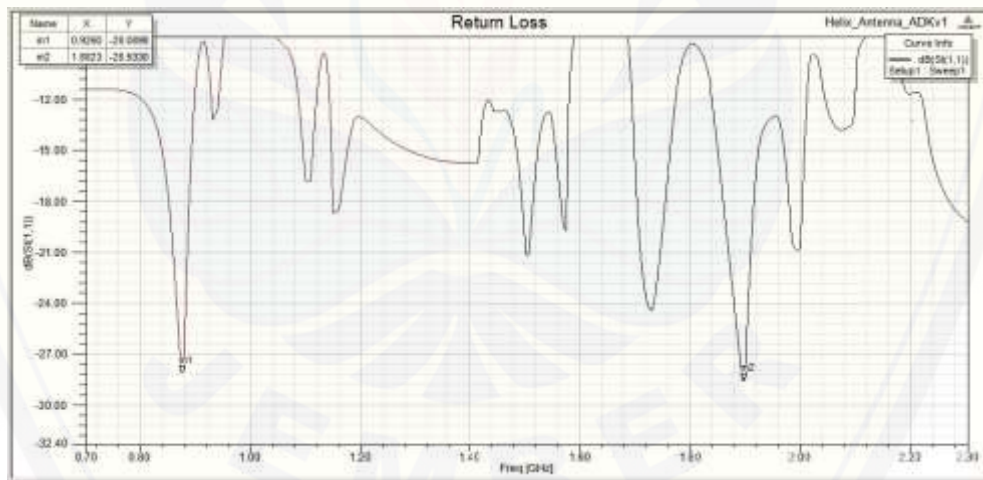
Gambar 22 Hasil Tegangan DC 100 m Tanpa Rangkaian Matching



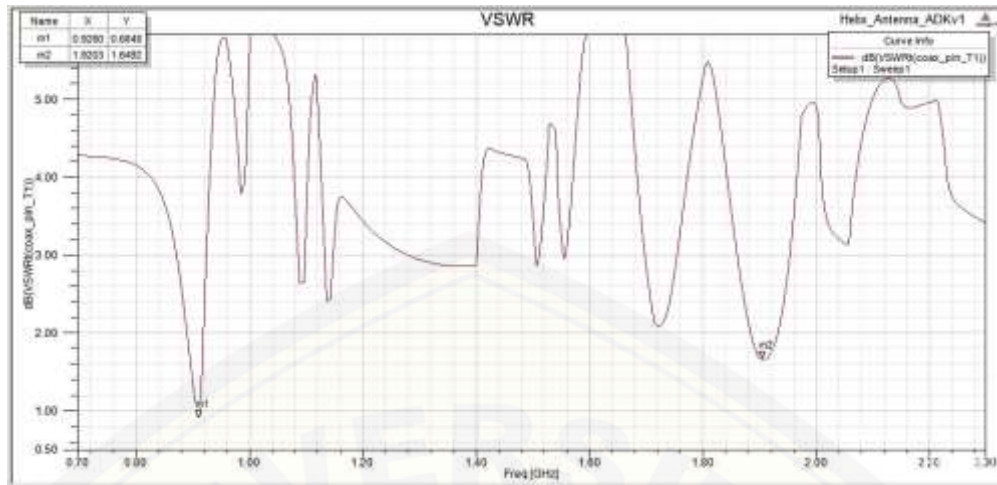
Gambar 23 Hasil Tegangan DC 200 m Tanpa Rangkaian Matching



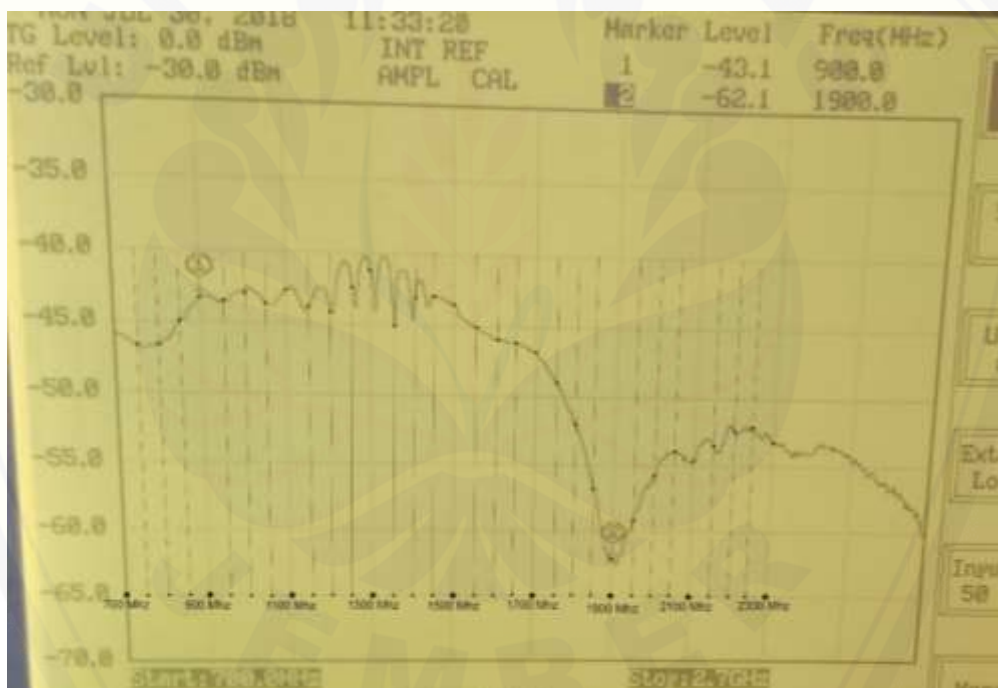
Gambar 24 Hasil Tegangan DC 300 m Tanpa Rangkaian Matching



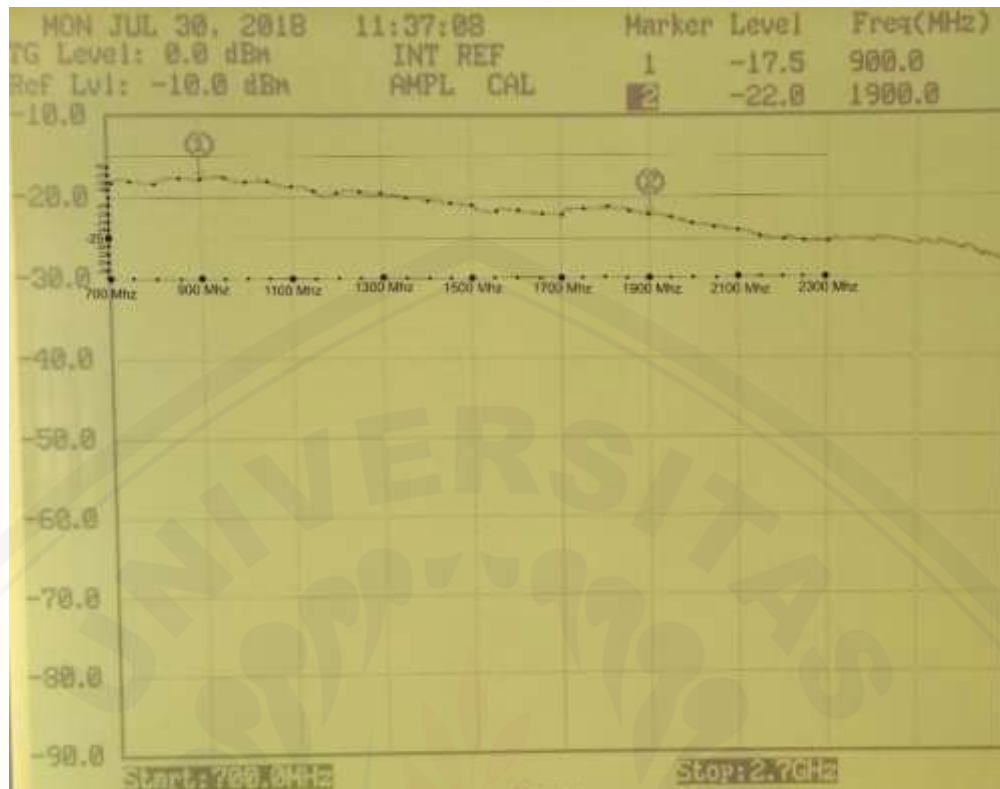
Gambar 25 Return Loss Simulasi dari 700 MHz sampai 2300 MHz



Gambar 26 VSWR Simulasi dari 700 MHz sampai 2300 MHz



Gambar 27 Foto Level Daya Antena Uji



Gambar 28 Foto Level Daya Referensi