

**INTEGRASI RECTENNA UNTUK WI-FI, RECTENNA UNTUK RADIO,
DAN RECTENNA UNTUK TELEVISI SECARA SERIAL UNTUK
MEMANEN GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TELEKOMUNIKASI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ANJAS MAULANA

NIM. 155060300111021

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2019

LEMBAR PENGESAHAN**INTEGRASI RECTENNA UNTUK WI-FI, RECTENNA UNTUK RADIO,
DAN RECTENNA UNTUK TELEVISI SECARA SERIAL UNTUK
MEMANEN GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK****SKRIPSI****TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan

Memperoleh gelar Sarjana Teknik



ANJAS MAULANA

NIM. 155060300111021

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing

Pada tanggal 16 Desember 2019

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Rudy Yuwono, S.T., M.Sc.
NIP. 19710615 199802 1 003

Dwi Fadila Kurniawan, S.T., M.T.
NIP. 19720630 200003 1 002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ir. HadiSuyono, S.T., M.T., Ph.D., IPM
NIP. 19730520 200801 1 013

JUDUL SKRIPSI:

INTEGRASI RECTENNA SECARA SERIAL UNTUK MEMANEN GELOMBANG
ELEKTROMAGNETIK

Nama Mahasiswa : Anjas Maulana

NIM : 155060300111021

Program Studi : TEKNIK ELEKTRO

Konsentrasi : TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Dosen Pembimbing 1 : Rudy Yuwono, S.T., M.Sc.

Dosen Pembimbing 2 : Dwi Fadila Kurniawan, S.T., M.T.

Tim Dosen Penguji

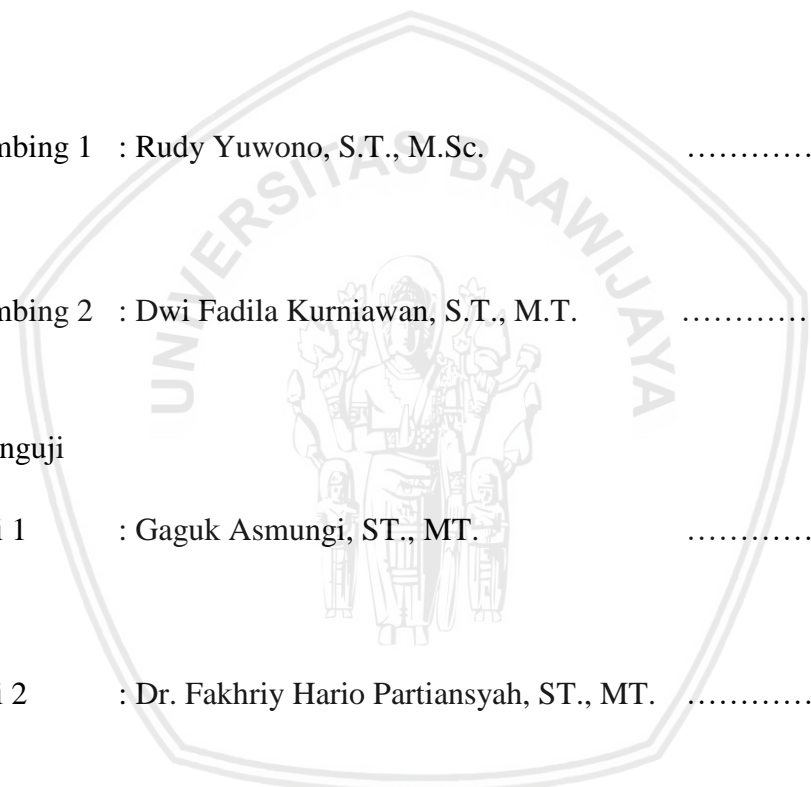
Dosen Penguji 1 : Gaguk Asmungi, ST., MT.

Dosen Penguji 2 : Dr. Fakhriy Hario Partiansyah, ST., MT.

Dosen Penguji 3 : Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, M.S.

Tanggal Ujian : 06 Desember 2019

SK Penguji : No. 2527 Tahun 2019



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

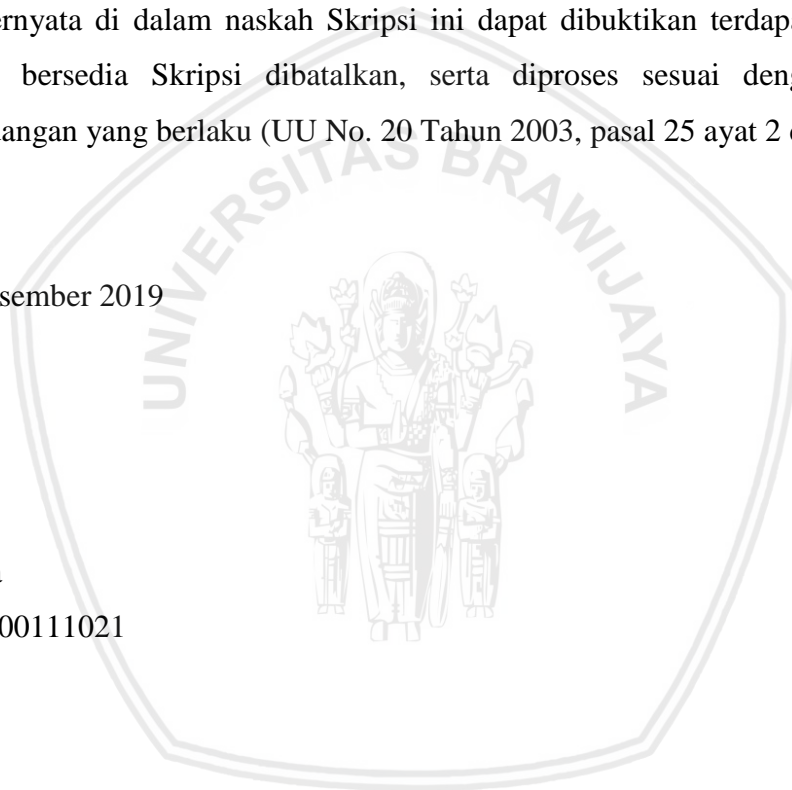
Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 16 Desember 2019

Mahasiswa,

Anjas Maulana

NIM. 155060300111021





*Teriring Ucapan Terima Kasih kepada:
Ayah dan Ibunda Tercinta*

RINGKASAN

Anjas Maulana, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, November 2019, *Integrasi Rectenna Untuk Wi-Fi, Rectenna Untuk Radio, Rectenna Untuk Televisi Secara Serial Untuk Memanen Gelombang Elektromagnetik*. Dosen Pembimbing: Rudy Yuwono dan Dwi Fadila Kurniawan.

Rectenna merupakan gabungan dari kata *rectifying* dan *antenna* yang merupakan alat untuk menangkap radiasi gelombang elektromagnetik dan dikonversi ke tegangan DC. Antena yang dipakai adalah antena mikrostrip *Elliptical Shape on Star Patch* pada frekuensi 2,4 GHz untuk Wi-Fi, antena monopole teleskopik dengan rentang frekuensi 88 MHz – 108 MHz untuk radio FM, antena yagi dengan rentang frekuensi 471,25 MHz – 855,25 MHz untuk televisi, dan *rectifier* yang dipakai adalah *fullwave rectifier* yang menggunakan dioda *germanium glass* tipe 1N60 sebanyak 4 buah. *Rectenna* ini kemudian disusun secara serial untuk mendapatkan tegangan keluaran yang lebih banyak dari pada sebuah *rectenna*, untuk mengetahui performansi *rectenna* maka dilakukan pengukuran *rectenna* dengan tegangan *output* dari masing-masing *rectenna*. *Rectenna* untuk wi-fi adalah 0 V, kemudian *rectenna* untuk radio adalah 0 V dan *rectenna* untuk televisi adalah 0 V.

Untuk meningkatkan tegangan pada *output rectenna* dilakukan penyusunan rangkaian secara seri dan didapatkan nilai dari masing-masing *rectenna* yang disusun seri, untuk *rectenna* wi-fi dan *rectenna* radio adalah 0 V, untuk *rectenna* wi-fi dan *rectenna* televisi adalah 0 V dan untuk *rectenna* radio dan televisi adalah 0V. Kemudian untuk membuktikan tegangan akan bertambah ketika jumlah rangkaian seri ditambah didapatkan pada studi kasus ini dengan tiga sistem *rectenna* yang disusun seri memiliki tegangan untuk *rectenna* wi-fi, *rectenna* radio, dan *rectenna* televisi sebesar 0 V.

Kata Kunci : *Rectenna*, Serial, Tegangan, *Rectifier* dan Antena.

SUMMARY

Anjas Maulana, *Department of Electrical Engineering, Brawijaya University, November 2019, Integrated Rectenna for Wi-Fi, Rectenna for Radio, and Rectenna for Television to Collect Electromagnetic Wave Serially. Advisor : Rudy Yuwono and Dwi Fadila Kurniawan.*

Rectenna is a combination of the words rectifying and antenna which is a tool to capture electromagnetic wave radiation and convert it to DC voltage. The antenna used is the Elliptical Shape on Star Patch microstrip antenna at 2.4 GHz for wi-fi, telescopic monopole antenna with a frequency range of 88 MHz - 108 MHz for FM radio, yagi antenna with a frequency range of 471.25 MHz - 855.25 MHz for television, and the rectifier used is a fullwave rectifier using 4 1N60 type germanium glass diodes. The rectenna is then arranged in series to get more power than a rectenna, to find out the performance of the rectenna then measuring the rectenna with the output of each rectenna. The rectenna for wi-fi is 0 V, then the rectenna for radio is 0 V and the rectenna for televisi is 0 V.

To increase the voltage at the rectenna output, the series is arranged in series and the values of each rectenna arranged in series, for the wi-fi and radio rectenna are 0 V, for the wi-fi rectenna and televisi rectenna is 0 V and for radio and televisi rectenna is 0 V. Then to prove the voltage will increase when the number of series circuits is obtained in this case study with three rectenna systems arranged in series having a voltage for rectenna wi-fi, radio rectenna, and rectenna televisi of 0V.

Keywords: *Rectenna, Serial, Voltage, Rectifier and Antenna.*

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim. Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “INTEGRASI RECTENNA UNTUK TELEVISI, RECTENNA UNTUK RADIO, RECTENNA UNTUK TELEVISI SECARA SERIAL UNTUK MEMANEN GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK” dengan baik. Tak lepas shalawat serta salam tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi suri tauladan bagi yang mengharapkan rahmat dan hidayah-Nya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar – besarnya kepada:

1. Papa, Mama, Bude Cit, Bude Anik, Pakde Hadi dan Mbah kakung beserta keluarga yang lainnya yang selalu memberikan kasih sayang dan do’a yang tak pernah putus.
2. Bapak Ir. Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D, IPM. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
3. Ibu Ir. Nurussa’adah, MT. selaku Sekertaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
4. Ibu Rahmadwati, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
5. Bapak Rudy Yuwono, ST., MSc. sebagai dosen pembimbing pertama yang telah banyak memberikan kesempatan, ilmu, nasehat, pengarahan, motivasi, saran dan masukan.
6. Bapak Dwi Fadila Kurniawan, ST., MT. sebagai dosen pembimbing kedua yang telah banyak memberikan kesempatan, ilmu, nasehat, pengarahan, motivasi, saran dan masukan.
7. Ibu Rusmi Ambarwati S.T., M.T. selaku KKDK konsentrasi telekomunikasi yang banyak memberikan pengarahan dalam hal akademik dan penulisan skripsi.
8. Mas Rakhmad Romadhoni, S.ST selaku pranata Laboratorium Informasi dan Komputer atas bantuan, fasilitas dan keramahannya selama penulis menjadi asisten laboratorium dan dalam proses pengerjaan skripsi.
9. Teman – teman TFLS, Wacana Forever, Gank Orochi yang telah memberi dukungan dan semangat.
10. Keluarga besar SERVO 2015 dan Paket C yang telah memberi dukungan dan semangat.

11. Rekan – rekan asisten Laboratorium Informasi dan Komputer 2013, 2014, 2015, 2016 dan 2017.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyadari bahwa skripsi ini belumlah sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis berharap kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan ini di masa yang akan datang. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Malang, 25 November 2019

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Antena	5
2.1.1 Parameter Antena	5
2.1.1.1 VSWR (<i>Voltage Wave Standing Ratio</i>)	5
2.1.1.2 RL (<i>Return Loss</i>)	6
2.1.1.3 <i>Bandwith</i>	6
2.1.1.4 Polarisasi	7
2.1.1.5 Pola Radiasi	8
2.1.1.6 <i>Directivity</i>	9
2.1.1.7 Gain	9
2.1.2 Antena Mikrostrip	10
2.1.2.1 Bentuk Umum Antena Mikrostrip	10
2.1.2.2 Dimensi Antena Mikrostrip	12
2.1.3 Antena Monopole	12
2.1.4 Antena Yagi	13
2.1.4.1 Konstruksi Antena Yagi	14
2.2 <i>Rectenna</i>	18
2.2.1 Rectifier	18
2.2.1.1 <i>Rectifier</i> Setengah Gelombang	18
2.2.1.2 <i>Rectifier</i> Gelombang Penuh	19

2.2.1.3 Rectifier Gelombang Penuh Dengan Filter.....	20
2.3 Proses Energi RF Menjadi Gelombang Energi Elektrik Oleh Antena	20
BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Studi Literatur.....	23
3.2 Pengumpulan Data.....	24
3.3 Perancangan.....	24
3.3.1 Pembuatan <i>Rectifier</i>	24
3.3.2 Spesifikasi Antena Wi-Fi.....	25
3.3.3 Spesifikasi Antena Radio.....	26
3.3.4 Spesifikasi Antena Televisi	27
3.3.5 Perancangan <i>Rectenna</i> Yang Disusun Secara Serial	28
3.4 Pengujian	28
3.5 Analisis	29
3.6 Pengambilan Kesimpulan dan Saran	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Tinjauan Umum.....	31
4.1 Pengukuran Antena.....	31
4.2.1 Tujuan Pengukuran Antena	31
4.2.2 Peralatan Yang Digunakan Untuk Pengukuran Antena (Wi-Fi/Radio/ Televisi)	31
4.2.3 Prosedur Pengukuran Antena (Wi-Fi/Radio/Televisi).....	32
4.2.4 Hasil Pengukuran Antena	33
4.3 Pengukuran <i>Rectenna</i>	34
4.3.1 Tujuan Pengukuran <i>Rectenna</i>	34
4.3.2 Peralatan Yang Digunakan Untuk Pengukuran <i>Rectenna</i> (Wi-Fi/Radio/ Televisi)	34
4.3.3 Prosedur Pengukuran <i>Rectenna</i> (Wi-Fi/Radio/Televisi).....	35
4.3.4 Hasil Pengukuran <i>Rectenna</i>	36
4.4 Peningkatan Tegangan <i>Output</i> Pada <i>Rectenna</i>	37
4.4.1 Tujuan Peningkatan Tegangan <i>Output</i> Pada <i>Rectenna</i>	37
4.4.2 Peralatan Yang Digunakan Untuk Peningkatan Tegangan <i>Output</i> Pada <i>Rectenna</i>	37
4.4.3 Prosedur Peningkatan Tegangan <i>Output</i> Pada <i>Rectenna</i>	38

4.4.4 Hasil Peningkatan Tegangan <i>Output</i> Pada <i>Rectenna</i>	39
4.5 Pengukuran Jenis – Jenis <i>Rectenna</i> Yang Disusun Secara Serial Terhadap Tegangan <i>Output Rectenna</i>	40
4.5.1 Tujuan Pengukuran Jenis – Jenis <i>Rectenna</i> Yang Disusun Secara Serial Terhadap Tegangan <i>Output Rectenna</i>	40
4.5.2 Peralatan Yang Digunakan Untuk Peningkatan Tegangan <i>Output</i> Pada <i>Rectenna</i>	40
4.5.3 Prosedur Pengukuran Jenis – Jenis <i>Rectenna</i> Yang Disusun Secara Serial Terhadap Tegangan <i>Output Rectenna</i>	41
4.5.4 Hasil Pengukuran Jenis – Jenis <i>Rectenna</i> Yang Disusun Secara Serial Terhadap Tegangan <i>Output Rectenna</i>	42
4.6 Analisis Pengaruh Jenis – Jenis <i>Rectenna</i> Terhadap Tegangan <i>Output Rectenna</i>	43
4.7 Analisa Perhitungan Matematis Tegangan <i>Output Rectenna</i>	45
4.8 Perhitungan Matematis Antena Dan <i>Rectenna</i>	45
4.8.1 <i>Rectenna</i> Wi-Fi	45
4.8.2 <i>Rectenna</i> Radio	45
4.8.3 <i>Rectenna</i> Televisi.....	46
BAB V PENUTUP	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Bentuk umum polarisasi	7
Gambar 2.2	Pola radiasi	8
Gambar 2.3	Antena mikrostrip	11
Gambar 2.4	Bentuk – bentuk <i>Patch</i> antena mikrostrip	11
Gambar 2.5	Model antena yagi	13
Gambar 2.6	Dimensi dan konstruksi antena yagi uda	13
Gambar 2.7	Antena dipole	14
Gambar 2.8	Susunan driven dan <i>reflector</i>	15
Gambar 2.9	Penempatan elemen <i>director</i>	16
Gambar 2.10	Pola radiasi antena yang diarahkan	17
Gambar 2.11	Blok diagram <i>rectenna</i> dengan RF frekuensi	18
Gambar 2.12	Rangkaian <i>rectifier</i> setengah gelombang	19
Gambar 2.13	Gelombang masuk dan keluaran <i>rectifier</i> setengah gelombang	19
Gambar 2.14	Rangkaian <i>rectifier</i> gelombang penuh	19
Gambar 2.15	Gelombang masuk dan keluaran <i>rectifier</i> gelombang penuh	20
Gambar 2.16	Rangkaian serta gelombang masuk dan keluaran <i>rectifier</i> gelombang penuh	20
Gambar 3.1	Diagram alir metodologi	23
Gambar 3.2	<i>Schematic rectifier</i>	24
Gambar 3.3	<i>Board rectifier</i>	25
Gambar 3.4	Desain antena mikrostrip Wi-Fi	25
Gambar 3.5	<i>Rectenna (rectifier antenna)</i> yang disusun seri	28
Gambar 3.6	Satu <i>system rectenna</i>	28
Gambar 3.7	Dua <i>system rectenna</i>	28
Gambar 3.8	Macam – macam <i>rectenna</i> yang disusun secara serial	29
Gambar 3.9	Diagram alir analisa	29
Gambar 4.1	Rangkaian pengukuran <i>rectenna</i>	32
Gambar 4.2	Grafik pengukuran <i>rectenna</i>	33
Gambar 4.3	Rangkaian peningkatan <i>output</i> pada <i>rectenna</i>	35
Gambar 4.4	Grafik pengukuran <i>rectenna</i>	36
Gambar 4.5	Rangkaian peningkatan <i>output</i> pada <i>rectenna</i>	38
Gambar 4.6	Grafik pengukuran peningkatan <i>output</i> pada <i>rectenna</i>	40

Gambar 4.7 Rangkaian pengukuran jenis – jenis *rectenna* yang disusun secara serial terhadap tegangan *output rectenna*..... 41

Gambar 4.8 Grafik pengukuran jenis – jenis *rectenna* yang disusun secara serial terhadap tegangan *output rectenna*..... 43

Gambar 4.9 Grafik hasil perbandingan rata – rata pengukuran tegangan *output rectenna* 49



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 3.1	Spesifikasi <i>Rectifier</i>	24
Tabel 3.2	Spesifikasi antena mikrostrip	26
Tabel 4.1	Hasil pengukuran antena	33
Tabel 4.2	Hasil pengukuran <i>rectenna</i>	36
Tabel 4.3	Hasil pengukuran peningkatan <i>output</i> pada <i>rectenna</i>	39
Tabel 4.4	Hasil percobaan pengaruh jumlah rangkaian seri	43
Tabel 4.5	Hasil perbandingan pengukuran tegangan <i>output rectenna</i>	43
Tabel 5.1	Hasil perbandingan pengukuran tegangan <i>output rectenna</i>	47



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Dokumentasi Percobaan.....	51
Lampiran 2	Foto Alat Dan Bahan.....	53
Lampiran 3	Datasheet.....	57



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada saat ini banyak teknologi yang bermunculan terutama dari perangkat wireless dengan daya yang rendah. Biasanya daya yang tersedia dari perangkat tersebut sangat rendah sesuai dengan *output* sumber. Hal ini disebabkan karena perubahan pada lingkungan dan mobilitas pada rangkaian penerima. Pengaturan daya yang efisien dapat digunakan untuk menjaga *output* daya. Teknik *energy harvesting* muncul sebagai sumber energi yang ramah lingkungan (Vullers, 2008), dimana merupakan alternatif yang menjanjikan dengan memanfaatkan sumber energi yang ada. Beberapa energi yang termasuk didalam *energy harvesting* adalah pemanfaatan energi angin dan tenaga surya. Pada saat ini juga banyak perangkat yang menghasilkan sumber energi alternatif lain seperti gelombang elektromagnetik, dimana gelombang elektromagnetik ini banyak tersebar secara luas di sekitar kita, contoh adanya Wi-Fi, radio, televisi yang dimana merupakan perangkat yang memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik. *Rectenna* merupakan gabungan dari kata "*rectifying*" dan "*antenna*" yaitu sebuah teknologi yang memanfaatkan gelombang elektronik untuk dikonversi ke energi listrik. Tegangan yang diambil dapat disimpan dalam kapasitor, baterai isi ulang, dan lain-lain.

Berdasarkan teknik *energy harvesting* yang sudah ada, *output* dayanya cenderung kecil, maka dilakukan penelitian dimana berfokus untuk memperbesar daya *output* untuk *energy harvesting*. Salah satunya adalah dengan menyusun *rectenna* secara serial. Rangkaian serial adalah rangkaian yang mempunyai karakteristik sebagai penambah tegangan, karena pada rangkaian serial yang bernilai sama adalah arusnya. Semakin banyak rangkaian disusun secara serial maka *output* tegangan semakin besar namun dengan nilai arusnya tetap sama.

Pada skripsi ini akan dibahas perancangan serial *rectenna* (*rectifier antenna*) sebagai pengubah gelombang elektromagnetik menjadi tegangan *output* DC yang memanfaatkan berbagai macam jenis *rectenna* yaitu, *rectenna* untuk Wi-Fi, *rectenna* untuk radio, *rectenna* untuk televisi untuk memanen gelombang elektromagnetik yang disusun secara serial untuk meningkatkan hasil *output* dari *rectenna* sebagai alternatif sumber energi tegangan DC.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penyusunan skripsi ini adalah:

- 1) Bagaimana cara meningkatkan *output* pada *rectenna*?
- 2) Bagaimana pengaruh jenis – jenis *rectenna* terhadap tegangan *output rectenna*?
- 3) Bagaimana pengaruh jenis – jenis *rectenna* yang disusun secara serial terhadap tegangan *output rectenna*?
- 4) Bagaimana hasil pengukuran tegangan *output* DC yang dihasilkan oleh jenis – jenis *rectenna*, serta bagaimana menganalisis hasil *output* tersebut?

1.3. Batasan Masalah

Skripsi ini membahas perancangan integrasi berbagai jenis *rectenna* yang disusun secara serial untuk memanen gelombang elektromagnetik sehingga didapatkan tegangan keluaran yang lebih besar daripada sebuah *system rectenna*. Dengan batasan sebagai berikut :

- 1) Menggunakan *rectifier* dan antena sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan dalam penelitian ini.
- 2) Tidak membahas perancangan antena mikrostrip dikarenakan menggunakan antena dari penelitian sebelumnya.
- 3) Tidak membahas perancangan antena televisi dan antena radio dikarenakan menggunakan antena buatan pabrik.
- 4) Menggunakan alat ukur *rectenna* sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan dalam penelitian ini.
- 5) Rugi – rugi perambatan gelombang elektromagnetik di ruang terbuka tidak diperhitungkan.
- 6) *Rectifier* yang dibahas berupa penyearah gelombang penuh (*fullwave*) dengan filter kapasitor untuk mengurangi *ripple* dan mendekati gelombang DC.
- 7) Rumus – rumus yang digunakan merupakan rumus jadi yang di kutip dari referensi.

1.4. Tujuan

Tujuan dalam penulisan skripsi ini adalah merancang dan menerapkan integrasi *rectenna* (*rectifier antenna*) yang disusun secara serial untuk memanen gelombang elektromagnetik dalam upaya meningkatkan tegangan keluaran yang lebih besar daripada sebuah *rectenna*.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Memuat latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Membahas teori dasar mengenai antena, jenis – jenis antena , *rectenna*, komponen penyusun *rectenna*.

BAB III Metode Penelitian

Membahas metode yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini, seperti membahas pengumpulan data, perancangan, analisis, serta pengambilan kesimpulan dan saran.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Menjelaskan tentang langkah-langkah pengukuran, hasil pengukuran, serta analisis rangkaian *rectenna*.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan dari hasil pengukuran dan saran untuk mengembangkan penelitian ini berdasarkan apa yang telah dicapai dalam penyelesaian skripsi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Antena

Antena merupakan komponen yang penting untuk mendukung sistem komunikasi nirkabel karena antena berfungsi sebagai sarana untuk memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik yang di dalamnya terkandung sinyal informasi. Selain itu, antena merupakan media peralihan antara ruang bebas dengan saluran transmisi (Balanis, 1982:1).

Untuk menggambarkan performa dari suatu antena maka diperlukan pendefinisian berbagai parameter antena. Beberapa diantara parameter tersebut saling berhubungan dan semuanya tidak harus disebutkan untuk menggambarkan performa antena secara keseluruhan (Balanis, 2005:27).

Beberapa parameter antena yang perlu dan penting untuk diketahui dalam perancangan sebuah antena yaitu *VSWR*, *return loss*, *bandwith*, polarisasi, pola radiasi, *directivity*, *gain*.

2.1.1 Parameter Antena

Parameter antena adalah hal yang sangat penting untuk menjelaskan kinerja suatu antena ada beberapa parameter antena seperti *VSWR*, *return loss*, *bandwith*, polarisasi, pola radiasi, *directivity*, *gain*.

2.1.1.1 *VSWR* (*Voltage Wave Standing Ratio*)

Voltage Standing Wave Ratio (*VSWR*) adalah rasio amplitudo tegangan maksimum terhadap amplitudo tegangan minimum dalam pola tegangan berdiri. Fluktuasi level daya yang dikarenakan adanya ketidaksesuaian saluran transmisi dengan beban. Besarnya nilai *VSWR* bervariasi antara 1 sampai ∞ (tak terhingga). Semakin tinggi *VSWR*, semakin besar pula ketidaksesuaian.

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \dots\dots\dots (2-1)$$

2.1.1.2 RL (*Return Loss*)

Return loss adalah salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui berapa banyak daya yang hilang pada beban dan tidak kembali sebagai pantulan. RL adalah parameter seperti *VSWR* yang menentukan *matching* antara antena dan *transmitter*.

Koefisien pantulan (*reflection coefficient*) adalah perbandingan antara tegangan pantulan dengan tegangan maju (*forward voltage*). Antena yang baik akan mempunyai nilai *return loss* dibawah -10 dB, yaitu 90% sinyal dapat diserap, dan 10%-nya terpantulkan kembali. Koefisien pantul dan *return loss* didefinisikan sebagai berikut (Punit, 2004:19).

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} \dots\dots\dots (2-2)$$

$$RL = -20 \cdot \log \Gamma (dB) \dots\dots\dots (2-3)$$

dengan:

Γ = koefisien pantul

V_r = tegangan gelombang pantul (*reflected wave*)

V_i = tegangan gelombang maju (*incident wave*)

RL = *return loss* (dB)

Untuk *matching* sempurna antara *transmitter* dan antena, maka nilai $\Gamma = 0$ dan $RL = \infty$ yang berarti tidak ada daya yang dipantulkan, sebaliknya jika $\Gamma = 1$ dan $RL = 0$ dB maka semua daya dipantulkan.

2.1.1.3 Bandwidth

Bandwidth didefinisikan sebagai jangkauan frekuensi dimana performa antena, dengan mengacu pada beberapa karakteristik, dapat memenuhi standar yang telah ditentukan. Untuk antena *broadband*, *bandwidth* biasanya dinyatakan sebagai perbandingan frekuensi atas dengan frekuensi bawah dalam rentang frekuensi kerja. Untuk persamaan *bandwidth* dalam persen (B_p) atau sebagai *bandwidth* rasio (B_r) dinyatakan sebagai berikut (Punit, 2004:22).

$$B_p = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100\% \dots\dots\dots (2-4)$$

$$f_c = \frac{f_l + f_u}{2} \dots\dots\dots (2-5)$$

$$B_r = \frac{f_u}{f_l} \dots\dots\dots (2-6)$$

dengan:

B_p = *bandwidth* dalam persen (%)

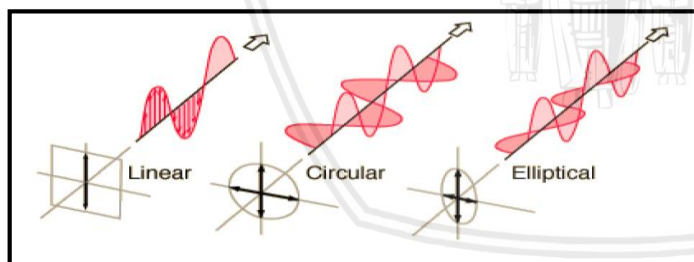
B_r = *bandwidth* rasio

f_u = jangkauan frekuensi atas (Hz)

f_l = jangkauan frekuensi bawah (Hz)

2.1.1.4 Polarisasi

Polarisasi merupakan salah satu parameter antena yang digambarkan sebagai arah vektor gelombang medan elektrik yang diradiasikan. Polarisasi juga dapat diartikan sebagai arah getaran gelombang radio atau dalam bahasa yang lebih tepat adalah arah medan elektrik gelombang radio yang dibangkitkan dari sebuah antena. Polarisasi gelombang dapat didefinisikan pemancaran atau penerimaan gelombang oleh antena dalam arah tertentu. Polarisasi dapat dikelompokkan sebagai linier, lingkaran, elips dan dapat dilihat pada gambar 2.1. Jika vektor, yang menggambarkan medan elektrik sebagai fungsi waktu, selalu searah sepanjang garis lurus, maka medan tersebut dikatakan sebagai polarisasi linier (Balanis, 2005:72).



Gambar 2.1 Bentuk umum polarisasi

(Sumber: Shakeeb, 2010:8)

Secara umum medan elektrik antena total (medan E) mempunyai dua komponen dalam satu bidang. Dua komponen medan E ini mungkin mempunyai besar dan arah sudut yang berbeda. Kedua antena, baik pada pemancar maupun pada penerima, harus memiliki polarisasi yang sama agar gelombang yang dipancarkan dapat diterima secara maksimum. Jika kedua antena yang terpolarisasi secara linier tidak sama orientasinya, maka akan terjadi penurunan transfer energi akibat ketidaksetaraan polarisasi.

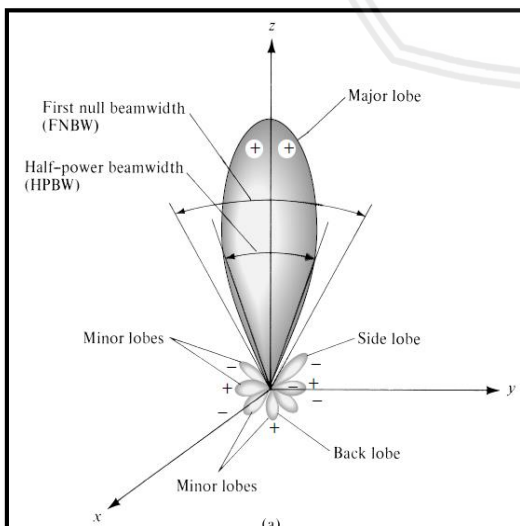
2.1.1.5 Pola Radiasi

Pola radiasi didefinisikan sebagai pernyataan grafis yang menggambarkan sifat radiasi suatu antenna pada fungsi koordinat ruang. Pola radiasi disebut juga pola medan (*field pattern*) dan digambarkan sebagai fungsi koordinat arah. Sifat radiasi meliputi intensitas radiasi, kuat medan, sudut fasa dan polarisasi (Balanis, 2005:27).

Berdasarkan pola radiasinya, antenna terbagi atas antenna dengan pola radiasi *isotropic*, *directional*, dan *omnidirectional*. Pola radiasi isotropis didefinisikan sebagai “sebuah hipotesis antenna tanpa memiliki rugi – rugi yang mempunyai radiasi yang sama ke segala arah.” Meskipun ini adalah pola yang ideal yang secara fisik tidak mungkin direalisasikan, namun seringkali dijadikan acuan untuk menyatakan sifat keterarahan suatu antenna. Antenna *directional* adalah antenna yang mempunyai sifat radiasi atau penerimaan gelombang elektromagnetik yang lebih efektif pada suatu arah tertentu dibandingkan arah lainnya. Sedangkan antenna *omnidirectional* adalah antenna yang mempunyai pola *non-directional* pada suatu bidang tertentu dan sebuah pola *directional* pada bidang tegak lurus lainnya (Balanis, 2005:32).

Bagian-bagian dalam pola radiasi disebut juga *lobe* seperti pada gambar 2.2. Berikut ini adalah *lobe* dalam pola radiasi:

- Main lobe* : Arah radiasi maksimum pada antenna.
- Minor lobe* : Arah radiasi minimum pada antenna yang tidak diinginkan.
- Back lobe* : Bagian dari *minor lobe* yang berlawanan dengan *main lobe*.
- Side lobe* : Bagian dari *minor lobe* yang bersebelahan dengan *main lobe*.



Gambar 2.2 Pola radiasi

(Sumber: Balanis, 2005:30)

2.1.1.6 Directivity

Keterarahan suatu antena didefinisikan sebagai kemampuan antena untuk mengkonsentrasikan energinya pada suatu arah tertentu. Dengan kata lain keterarahan dari suatu antena dapat ditunjukkan dengan perbandingan antara intensitas radiasi pada arah radiasi tertentu dibandingkan dengan intensitas radiasi rata – rata pada segala arah (Balanis, 2005:44).

$$D_{max} = D_0 = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \dots\dots\dots (2-7)$$

dengan:

D = keterarahan (tanpa satuan)

D_0 = keterarahan maximum (tanpa satuan)

U = intensitas radiasi (W/satuan sudut ruang)

U_0 = intensitas radiasi sumber isotropis (W/ satuan sudut ruang)

U_{max} = intensitas radiasi maksimum (W/satuan sudut ruang)

P = daya radiasi total (W)

2.1.1.7 Gain

Salah satu pengukuran yang penting untuk menggambarkan performa suatu antena adalah *gain*. Walaupun *gain* sangat berhubungan dengan keterarahan, pengukuran *gain* memperhitungkan efisiensi antena maupun keterarahannya. *Gain* antena didefinisikan sebagai “perbandingan antara intensitas radiasi yang diberikan pada arah tertentu terhadap intensitas radiasi yang didapatkan oleh antena bila diradiasikan secara isotropis. Intensitas radiasi yang dipancarkan secara isotropis sama dengan daya yang diterima oleh antena dibagi dengan 4π .” dengan persamaan (Balanis, 2005:65).

$$Gain = 4\pi \frac{\text{intensitas radiasi}}{\text{total daya masukan (yang diterima)}} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \text{ (tanpa satuan) } \dots\dots (2-8)$$

Gain antena dibedakan menjadi *absolute gain* dan *relative gain*. *Absolute gain* suatu antena (pada arah tertentu) didefinisikan sebagai perbandingan intensitas radiasi antena pada arah tertentu terhadap intensitas radiasi yang akan diperoleh jika daya yang diterima antena diradiasikan secara isotropis. Intensitas radiasi dari daya yang diradiasikan secara isotropis sebanding dengan daya yang diterima (pada terminal *input*) antena dibagi dengan 4π .

$$G = 10 \cdot \log \frac{4\pi \cdot U_m}{P_{in}} \text{ (dB)} \dots\dots\dots (2-9)$$

dengan:

G = gain antena (dB)

U_m = intensitas radiasi antena (watt)

P_{in} = daya input total yang diterima oleh antena (watt)

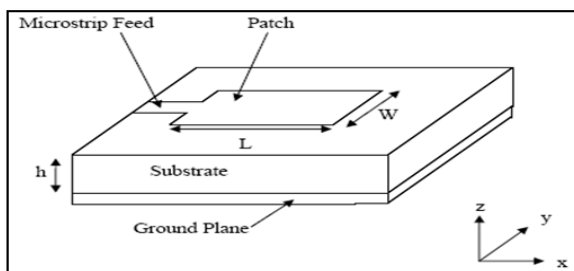
2.1.2 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan antena yang terdiri dari elemen konduktor (sebagai elemen radiasi), yang diletakkan di bidang tanah (*ground plane*) dimana di antaranya terdapat bahan dielektrik. Antena mikrostrip merupakan salah satu antena gelombang mikro yang digunakan sebagai radiator pada sejumlah sistem telekomunikasi modern saat ini. Hal ini disebabkan karena ukuran antena mikrostrip yang kecil dan beratnya yang ringan membuat jenis antena ini sederhana untuk dibuat dan mudah untuk diintegrasikan. Antena mikrostrip memiliki kelebihan seperti bobot yang ringan serta ukuran yang kecil, mampu beroperasi pada *single*, dual ataupun *multi band*, dan dapat menghasilkan polarisasi sirkular maupun linear. Akan tetapi antena mikrostrip juga memiliki kekurangan seperti *bandwidth* yang sempit, *gain* yang kecil, dan efisiensi yang rendah.

2.1.2.1 Bentuk Umum Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan antena yang terdiri dari elemen konduktor (sebagai elemen radiasi), yang diletakkan di bidang tanah (*ground plane*) dimana di antaranya terdapat bahan dielektrik. Antena mikrostrip memiliki kelebihan seperti bobot yang ringan serta ukuran yang kecil, mampu beroperasi pada *single*, dual ataupun *multi band*, dan dapat menghasilkan polarisasi sirkular maupun linear. Akan tetapi antena mikrostrip juga memiliki kekurangan seperti *bandwidth* yang sempit, *gain* yang kecil, dan efisiensi yang rendah.

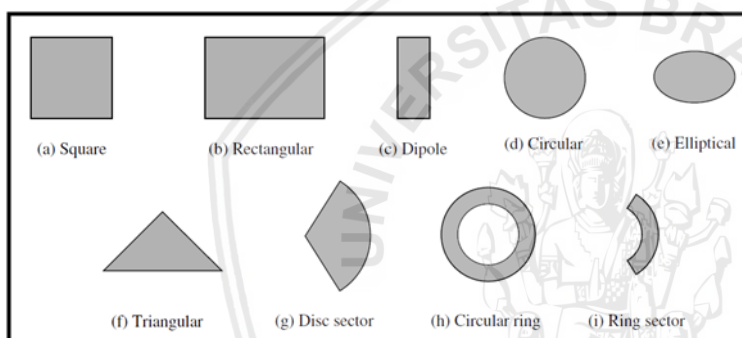
Pada antena mikrostrip, terdapat empat elemen paling sederhana yaitu *patch* sebagai elemen peradiasi, substrat dielektrik, *feed*, dan *ground*. Empat elemen seperti gambar 2.3.



Gambar 2.3 Antena mikrostrip

(Sumber: Punit, 2004:40)

Patch merupakan elemen peradiasi pada antena mikrostrip. Berupa lembaran metal yang berada diatas substrat dielektrik. Adapun beberapa bentuk *patch* antena mikrostrip dapat dilihat dalam gambar 2.4. Tiap bentuk *patch* memiliki karakteristik masing-masing.



Gambar 2.4 Bentuk bentuk *patch* antena mikrostrip

(Sumber: Balanis, 2005:813)

Substrat dielektrik berada di lapisan antara *patch* dan *ground*. Setiap substrat memiliki nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) yang berkisar antara $2,2 < \epsilon_r < 12$ dan ketebalan substrat yang berkisar antara $0,003\lambda_0 \leq h \leq 0,05\lambda_0$. Untuk kinerja antena, pemilihan substrat sangat berpengaruh, semakin tebal substrat maka konstanta dielektriknya kecil sehingga *bandwidth* juga semakin lebar tetapi dimensi akan bertambah besar begitu juga sebaliknya (Balanis, 2005:812).

Feed atau pencatuan adalah teknik yang digunakan untuk menghubungkan antena mikrostrip dengan saluran transmisi lainnya, umumnya yang dihubungkan adalah bagian *patch* antena mikrostrip. *Ground* merupakan bagian metalik pada sisi belakang substrat dielektrik. Berfungsi sebagai *reflector* yang memantulkan sinyal yang tidak diinginkan.

2.1.2.2 Dimensi Antena Mikrostrip

Untuk menentukan dimensi elemen peradiasi, maka terlebih dahulu harus ditentukan frekuensi kerja (f_r) yang digunakan untuk mencari panjang gelombang diruang bebas (λ_0).

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_r} \dots\dots\dots (2-11)$$

Setelah nilai λ_0 diperoleh, maka panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip (λ_d) dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots (2-12)$$

dengan :

ϵ_r = permitivitas dielektrik relatif substrat (F/m)

2.1.3 Antena Monopole

Antena monopole adalah antena yang terdiri dari batang konduktor yang berbentuk tegak lurus, dan sering dipasang tegak lurus atas beberapa jenis konduktif permukaan yang biasa disebut tanah pesawat atau *ground plane*. Monopole adalah resonan antenna dimana batang konduktor berfungsi sebagai resonator terbuka untuk gelombang radio, beresilasi dengan tegangan gelombang berdiri dan arus sepanjang panjang konduktor. Panjang antena ditentukan oleh besar frekuensi yang digunakan. Bentuk paling umum dari antenna monopole adalah monopole seperempat gelombang, dimana antena adalah $\frac{1}{4}$ dari panjang gelombang radio. Adapun persamaan rumus untuk menghitung panjang antena monopole sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{c}{f} \dots\dots\dots (2-13)$$

dengan :

λ = panjang gelombang (m)

f = frekuensi (Hz)

c = cepat rambat gelombang (m/s)

Persamaan di atas adalah untuk menghitung panjang gelombang di udara. Sedangkan cepat rambat gelombang pada logam lebih kecil 5% dari cepat rambat gelombang di udara, atau 0.95 kali cepat rambat gelombang di udara. Sehingga persamaan tersebut menjadi :

$$\lambda = \frac{c}{f} \times 0,95 \dots\dots\dots (2-14)$$

2.1.4 Antena Yagi

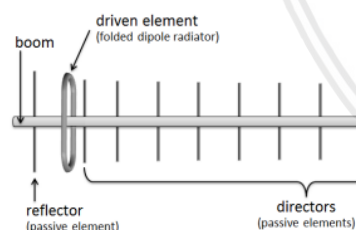
Sejak ditemukan oleh S. Uda dan Hidetsugu Yagi di Universitas Tohoku pada tahun 1926, antena yagi yang lebih tepat disebut antena yagi-uda. Antena ini banyak sekali digunakan pada komunikasi radio amatir, dan kemudian sebagai antena penerima televisi, karena kerjanya yang prima dan toleransinya terhadap variasi serta kesalahan konstruksi bila kinerja optimum bukan suatu tuntutan. Antena yagi uda merupakan antena susun dari antena dipole. Antena ini umumnya terdiri dari sebuah *reflector*, sebuah *driven* elemen, dan beberapa *director*.



Gambar 2.5 Model antena yagi

(Sumber : Shanghai Suntop Electronic.industrial.co.Ltd)

Keuntungan menggunakan antena yagi ini adalah antena ini menghasilkan gain yang besar, dimana semakin banyak elemen yang di buat maka semakin besar pula penguatan yang di hasilkan, sedangkan kerugiannya antena ini yaitu antena ini merupakan antena satu arah, jika terjadi kemiringan sudut dari antena maka sinyal yang diterima akan menjadi kurang bagus. Pada gambar 2.6 memperlihatkan dimensi serta kontruksi dari antena yagi.



Gambar 2.6 Dimensi dan konstruksi antena yagi uda

(Sumber : http://bcbj.org/antennae/lte_yagi_diy.htm)

Antena ini bersifat direksional, yaitu menambah gain hanya pada salah satu arahnya. Sisi antena yang berada di belakang *reflector* memiliki gain yang lebih kecil daripada di depan *director* (Purba Ornal, 2013:12). Antena yagi yang termasuk dalam jenis antena - antena kanal gelombang berjalan, dalam bentuk bakunya terdiri dari sejumlah antena kawat dipole yang diletakkan sejajar dalam suatu bidang. Satu diantaranya merupakan dipole aktif,

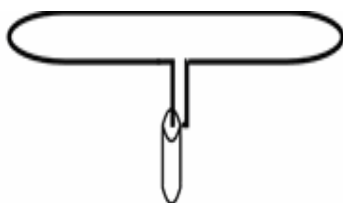
sedangkan yang lainnya adalah pasif. Satu dari dipole pasif ini berada dibelakang dipole aktif dan berfungsi sebagai pemantul, dipole pasif lainnya terletak di depan dipole aktif sebagai pengarah. Dalam konfigurasi ini arah depan merupakan arah pancaran antenna. Diketahui dari teori – teori dipole gandeng bahwa dipole pasif akan berfungsi sebagai pemantul bila tahanan reaktifnya adalah induktif. Karena itu panjang pemantul lebih besar dari setengah panjang gelombang. Dipole pasif akan berlaku sebagai pengarah kalau tahananannya kapasitif, karena itu panjangnya kurang dari setengah panjang gelombang. Biasanya satu dipole cukup sebagai pemantul karena pemantul tambahan tidak banyak pengaruhnya terhadap pola pancaran antenna. Sebaliknya karena arah pancar antenna sesuai dengan kedudukan pengarah, eksitasi intensif secara seri yang membentuk kanal gelombang berjalan ditunjang oleh jumlah pengarah, sehingga jumlah pengarahnya antara 2 hingga 12 merupakan hal yang umum.

2.1.4.1 Konstruksi Antena Yagi

Konstruksi antenna yagi tersusun atas 3 elemen yang merupakan bagian-bagian penting dari antenna yagi tersebut. Namun tidak hanya 3 elemen penting yang menyusun antenna yagi akan tetapi terdapat elemen pembantu pada antenna yagi. Bagian-bagian tersebut adalah sebagai berikut:

1. *Driven*

Driven merupakan bagian paling penting dari sebuah antenna yagi karena elemen inilah yang akan membangkitkan gelombang elektromagnetik menjadi sebuah sinyal yang akan di pancarkan. *Driven* elemen adalah suatu elemen yang menyediakan daya dari pemancar, biasanya melalui saluran transmisi. Untuk menjadikan sebuah driver yang menghantarkan radiasi dengan baik, biasanya menggunakan antenna dipole sebagai bentuk drivernya. Antenna dipole adalah antenna berbentuk linear pendek, yang bila sedang memancarkan dapat mempunyai arus yang sama diseluruh panjangnya (Tuwono, 2008:2).



Gambar 2.7 Antena dipole
(Sumber: Tuwono, 2008:2)

Dalam pembuatan driver antenna yagi, antenna dipole yang biasa digunakan adalah antenna dipole setengah gelombang, dimana panjang total minimalnya pada frekuensi pembawa adalah $\frac{1}{2} \lambda$, penerapannya antenna ini bertujuan karena antenna dipole $\frac{1}{2} \lambda$ memiliki resistansi radiasi yang rendah, namun dengan tingkat reaktansi yang tinggi, sehingga antenna ini efisien digunakan pada antenna yang memiliki panjang gelombang yang cukup lebar ini terlihat pada pola pancaran antenna dipole $\frac{1}{2} \lambda$. Rumus untuk menghitung total panjang *driven* elemen yagi ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut :

$$L = 0.5 \times K \times \lambda \dots\dots\dots (2-15)$$

dengan:

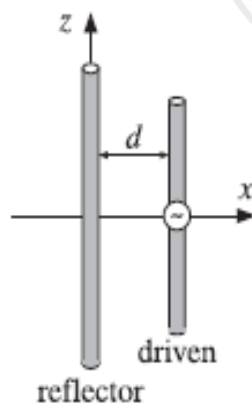
L = panjang *driven* elemen

K = *velocity factor* (pada logam 0.95)

λ = panjang gelombang (m)

2. Reflector

Sesuai dengan namanya *reflector*, elemen ini merupakan elemen pemantul. Elemen *reflector* ditempatkan di belakang *driven* dan dibuat lebih panjang dari pada panjang *driven* atau dipole. Panjang biasanya adalah $0,55 \lambda$. Tujuan utama dari penempatan *reflector* di belakang adalah untuk membatasi radiasi agar tidak melebar kebelakang namun kekuatan pancarannya akan diperkuat ke arah sebaliknya. *Reflector* juga bersifat menjadikan antenna lebih induktif.



Gambar 2.8 Susunan *driven* dan *reflector*

(Sumber: Tuwono, 2008:2)

Untuk penentuan ukuran dari sebuah *reflector* dari konstruksi antenna yagi ditentukan dengan :

$$l_{ref} = l_{dipole} + 5\% l_{dipole} \dots\dots\dots (2-16)$$

dengan :

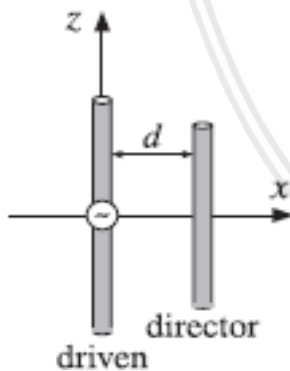
l_{ref} = panjang *reflector* (cm, m)

l_{dipole} = panjang elemen driver (cm, m)

Pemasangan *reflector* hanya digunakan satu saja, karena penambahan *reflector* yang kedua atau ketiga praktis tidak akan menambah apapun pada keterarahan struktur. Sedangkan penempatan elemen *reflector* yaitu dibelakang elemen driver (dipole) dengan jarak optimum yaitu $0,15 - 0,2 \lambda$.

3. Director

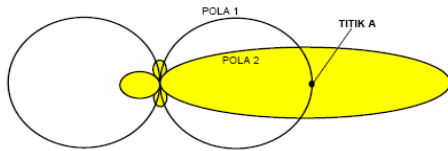
Director adalah bagian pengarah antenna, ukurannya sedikit lebih pendek daripada *driven*. Penambahan batang *director* akan menambah *gain* antenna, namun akan membuat pola pengarah antenna menjadi lebih sempit. Semakin banyak jumlah *director*, maka semakin sempit arahnya. Elemen ini juga kadang sering disebut dengan elemen parasitic.



Gambar 2.9 Penempatan elemen *director*

(Sumber: Tuwono, 2008:3)

Pada gambar 2.10 terlihat pola 1 merupakan pola radiasi yang dihasilkan oleh antenna dipole, dengan penambahan *reflector* dan *director* pola radiasi antenna akan diubah dan diperkecil menjadi satu arah namun dengan daya pancar yang lebih jauh seperti yang terlihat pada pola 2 (Tuwono , 2008:3).



Gambar 2.10 Pola radiasi antenna yang diarahkan

(Sumber: Tuwono, 2008)

Penambahan satu atau lebih *director* merupakan metode yang paling efektif dalam mendapatkan penguatan yang lebih besar, semakin banyak jumlah elemen *director* maka akan didapat penguatan yang lebih besar juga. Seperti halnya *reflector*, elemen *director* juga memiliki pengaturan dalam penentuan ukuran dan jarak, baik itu jarak dengan *driven* ataupun jarak antara *director* satu dengan *director* lainnya. Karena ukuran dalam penentuan ini akan mempengaruhi kinerja kemampuan antenna yang (Tuwono, 2008:4). Dalam hal penentuan ukuran, *director* dibuat dengan ukuran harus lebih kecil daripada ukuran antenna dipole atau *driven*, penentuan ukuran dapat dibuat menggunakan rumus :

$$ldirector = ldipole - 5\% ldipole \dots\dots\dots (2-17)$$

dengan:

$$ldirector = \text{panjang } director \text{ (m)}$$

$$ldipole = \text{panjang elemen } driven \text{ (m)}$$

Pengarah atau *director* yang terdekat pada antenna dipole adalah pengarah yang paling berpengaruh terhadap penguatan, dan pengaruh yang paling jauh memiliki pengaruh yang kecil dalam beberapa teori terdapat sebuah persamaan yang mengemukakan tentang jarak antara *director*, persamaan tersebut yaitu:

$$d = 36,6 / f \dots\dots\dots (2-18)$$

dengan :

$$d = \text{jarak antara } director \text{ (m)}$$

$$f = \text{frekuensi kerja (MHz)}$$

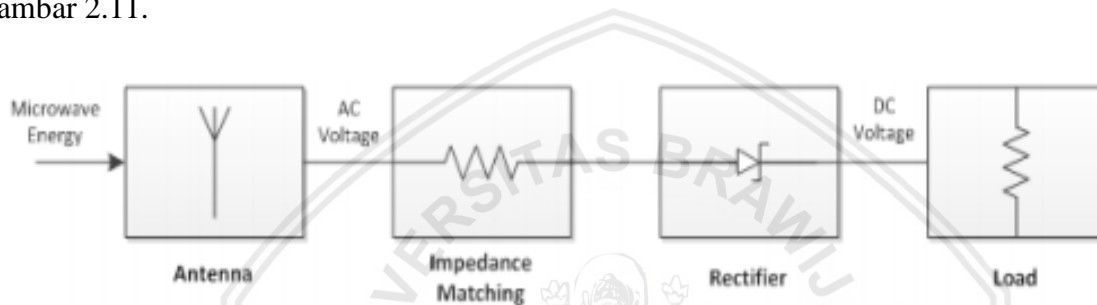
4. Boom

Boom adalah bagian ditematkannya *driven*, *reflector*, dan *director*. Boom berbentuk sebatang logam atau kayu yang panjangnya sepanjang antenna itu.

2.2 Rectenna

Rectenna merupakan gabungan dari kata "*rectifying*" dan "*antenna*" yaitu sebuah teknologi yang memanfaatkan gelombang elektronik untuk dikonversi ke energi listrik. *Rectenna* pertama kali ditemukan oleh W. C Brown pada tahun 1960. *Rectenna* merupakan antena yang diintegrasikan dengan sebuah rangkaian *rectifier*, atau juga dapat dikatakan sebagai perangkat yang memiliki kemampuan untuk mengkonversi gelombang RF menjadi tegangan DC.

Secara umum perancangan *rectenna* dengan frekuensi RF terdiri dari antena, rangkaian *impedance matching*, *filter* dan *rectifier* yang diteruskan ke beban. Blok diagram seperti gambar 2.11.



Gambar 2.11 Blok diagram *rectenna* dengan RF frekuensi (Sumber: Dan S. 2013)

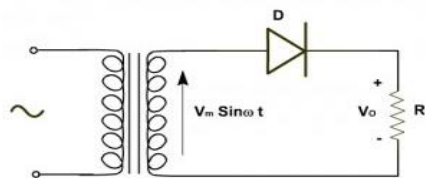
2.2.1 Rectifier

Rectifier adalah alat yang digunakan untuk mengubah sumber arus bolak-balik (AC) menjadi sinyal sumber arus searah (DC). Gelombang AC yang berbentuk gelombang sinus hanya dapat dilihat dengan alat ukur osiloskop.

Rangkaian *rectifier* banyak menggunakan transformator *step down* yang digunakan untuk menurunkan tegangan sesuai dengan perbandingan transformasi transformator yang digunakan. Berikut merupakan prinsip *rectifier* dalam mengubah arus bolak – balik (AC) menjadi sinyal sumber arus searah (DC).

2.2.1.1 Rectifier Setengah Gelombang

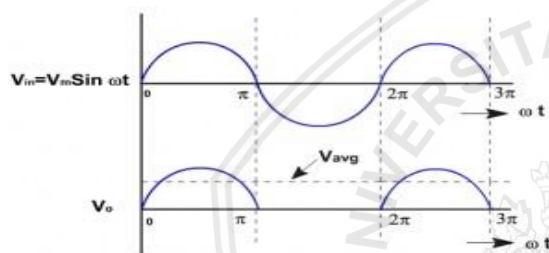
Rectifier jenis ini hanya menggunakan 1 buah dioda sebagai komponen utama dalam menyearahkan gelombang AC. Dengan anoda pada positif *load* dan katoda pada transformator atau pada sumber AC. Untuk lebih jelasnya dapat digambarkan dengan gambar 2.12.



Gambar 2.12 Rangkaian *rectifier* setengah gelombang

(Sumber: Elektronika Dasar, 2013)

Prinsip kerja penyearah setengah gelombang adalah bahwa pada saat sinyal input berupa siklus positif maka dioda mendapat bias maju sehingga arus (i) mengalir ke beban, dan sebaliknya bila sinyal input berupa siklus negatif maka dioda mendapat bias mundur sehingga tidak mengalir arus. Selama input tegangan berada pada setengah siklus positif, dioda D1 aktif dan arus akan lewat ke beban. Sehingga sinyal *output* seperti gambar 2.13.

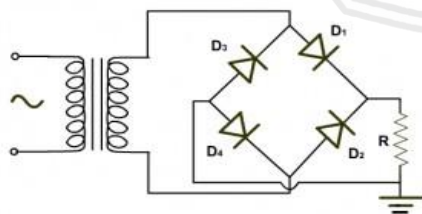


Gambar 2.13 Gelombang masuk dan keluaran *rectifier* setengah gelombang

(Sumber: Elektronika Dasar, 2013)

2.2.1.2 *Rectifier* Gelombang Penuh

Rectifier jenis ini menggunakan 4 dioda yang dirangkai secara *bridge*. Untuk lebih jelasnya dapat digambarkan dengan gambar 2.14.

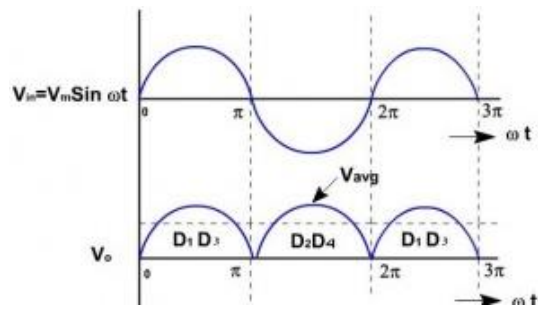


Gambar 2.14 Rangkaian *rectifier* gelombang penuh

(Sumber: Elektronika Dasar, 2013)

Prinsip kerja *rectifier* gelombang penuh adalah bahwa pada saat sinyal input berupa siklus positif, maka D1 dan D4 aktif, sedangkan D2 dan D3 tidak aktif, sehingga level tegangan sisi puncak positif tersebut akan di lewatkan melalui D1 ke D4. Pada saat sinyal siklus negatif maka D2 dan D3 aktif, sedangkan D1 dan D4 tidak aktif, sehingga level

tegangan sisi negatif tersebut dialirkan melalui D₂, D₃. Sehingga sinyal *output* seperti gambar 2.15.

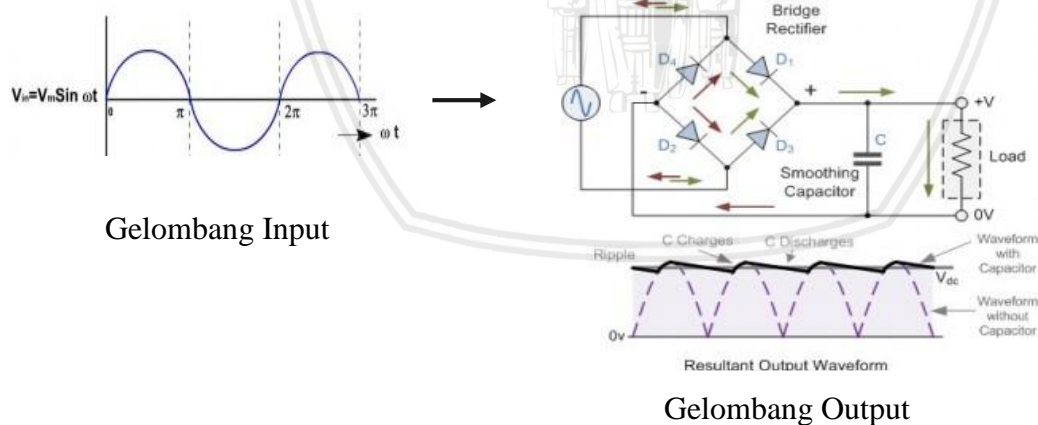


Gambar 2.15 Gelombang masuk dan keluaran *rectifier* gelombang penuh

(Sumber: Elektronika Dasar, 2013)

2.2.1.3 Rectifier Gelombang Penuh Dengan Filter

Supaya *output rectifier* sinyalnya mendekati DC murni, maka harus mengurangi *ripple*. Gelombang sinusoida (AC) yang berasal dari sumber yang ditangkap oleh *antenna* diteruskan pada *bridge rectifier* yang berisi 4 dioda yang berfungsi sebagai penyearah arus sehingga menghasilkan gelombang bernilai positif. Untuk mengurangi *ripple* maka perlu ditambahkan komponen kapasitor pada rangkaian agar gelombang keluaran tegangan mendekati tegangan DC murni dan dapat diukur di ujung beban seperti gambar 2.16.



Gambar 2.16 Rangkaian serta gelombang masuk dan keluaran *rectifier* gelombang penuh dengan filter kapasitor

(Sumber: Elektronika Dasar, 2013)

2.3 Proses Merubah Energi RF Menjadi Energi Elektrik Oleh Antena

Antena merupakan sebuah alat yang mengubah gelombang elektromagnetik menjadi gelombang elektrik di ruang bebas, dan sebaliknya. Saluran transmisi adalah alat yang

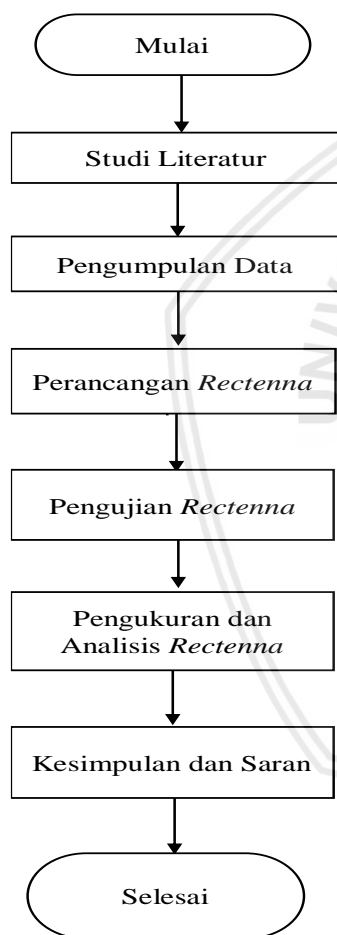
berfungsi sebagai penghantar atau penyalur energi gelombang elektromagnetik. Jika saluran ini dihubung singkat maka akan muncul gelombang berdiri yang disebabkan oleh interferensi gelombang datang dengan gelombang yang dipantulkan. Jika gelombang datang sama besar dengan gelombang yang dipantulkan akan dihasilkan gelombang berdiri murni. Konsentrasi – konsentrasi energi pada gelombang berdiri ini beresilasi dari energi listrik seluruhnya ke energi magnet.



BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan dalam skripsi ini adalah mengenai perancangan dan pembuatan *rectenna* menggunakan 3 jenis macam *rectenna* untuk memanen gelombang elektromagnetik dan disusun secara serial untuk meningkatkan tegangan keluaran dari *rectenna*. Adapun metodologi yang digunakan dalam penyelesaian skripsi ini adalah sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram alir metodologi
(Sumber : Perancangan)

3.1 Studi Literatur

Melakukan kajian pustaka untuk memahami analisis dan desain *rectenna* menggunakan beberapa jenis *rectenna* yang disusun secara serial untuk memanen gelombang elektromagnetik dan meningkatkan tegangan keluaran dari *rectenna*.

3.2 Pengumpulan Data

Data – data yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah berupa data primer dan data sekunder.

a. Data primer

Data primer adalah data yang didapatkan dari hasil pengamatan dengan pengukuran secara praktik.

b. Data sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari studi literatur (buku, jurnal-jurnal, dan internet). Berikut adalah data sekunder yang digunakan:

- Spesifikasi antena
- Spesifikasi *rectifier*
- *Datasheet* antena yagi televisi
- *Datasheet* antena teleskopik radio

3.3 Perancangan

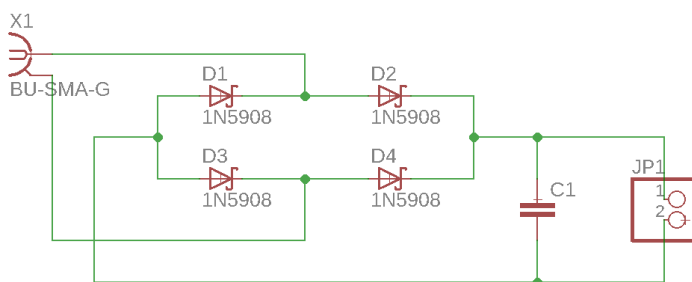
3.3.1 Pembuatan *Rectifier*

Pembuatan *rectifier* menggunakan rangkaian yang diberi nama *rectifier*. Spesifikasi seperti pada tabel 3.1. *Schematic rectifier* seperti gambar 3.2 sampai gambar 3.3.

<i>Rectifier</i>	Kapasitor	Dioda	Konektor
Radio dan WiFi	1 x Elco 10 μ F	4 x Germanium Glass 1N60	SMA - Female
Televisi	1 x Elco 10 μ F	4 x Germanium Glass 1N60	Coax Antena - Female

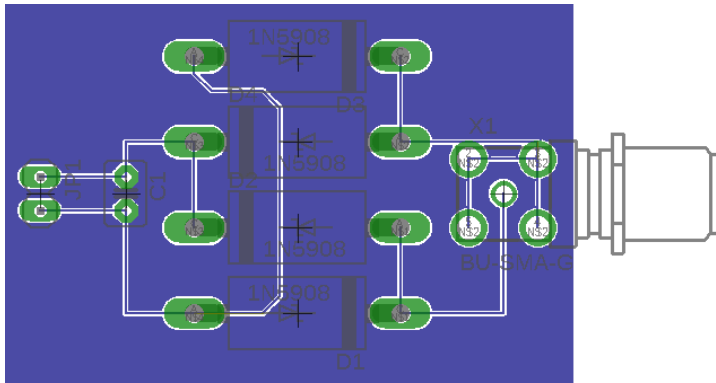
Tabel 3.1 Spesifikasi *Rectifier*

(Sumber: Perancangan)



Gambar 3.2 *Schematic rectifier*

(Sumber: Perancangan)



Gambar 3.3 Board rectifier

(Sumber: Perancangan)

3.3.2 Spesifikasi Antena Wi-Fi

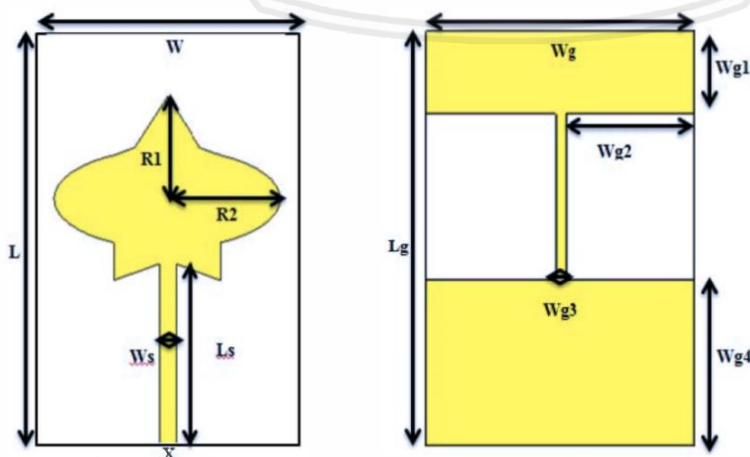
Dengan frekuensi kerja: 2,4 GHz

Bahan substrat yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Bahan = Epoxy fiberglass - FR 4
2. Konstanta dielektrik (ϵ_r) = 4,5
3. Ketebalan dielektrik (h) = 0,0016 m = 1,6 mm
4. Loss tangen ($\tan \delta$) = 0,018

Bahan konduktor:

1. Bahan = Tembaga
2. Ketebalan bahan konduktor (t) = 0,0001 m = 0,1 mm
3. Konduktifitas tembaga (σ) = $5,80 \times 10^7$ mho m-1
4. Impedansi karakteristik saluran (Z_0) = 50 Ω



Gambar 3.4 Desain antena mikrostrip Wi-Fi

(Sumber: Yuwono, 2015)

Dengan spesifikasi dimensi sebagai berikut:

Variabel	Dimensi (mm)
W	50
L	75
R1	18,5
R2	23
Ws	3,372
Ls	34
Wg	50
Lg	75
Wg1	15
Wg2	24
Wg3	2
Wg4	30

Tabel 3.2 Spesifikasi antenna mikrostrip

(Sumber: Yuwono, 2015)

Parameter antenna mikrostrip Wi-Fi:

1. VSWR : 1,21
2. Return Loss : -17,02 dB

3.3.3 Spesifikasi Antena Radio

Dengan frekuensi kerja: 88 MHz – 108 - MHz

Bahan konduktor:

1. Bahan = Alumunium
2. Ketebalan bahan konduktor (t) = 0,0010 m = 1 mm
3. Konduktifitas alumunium (σ) = 3.77×10^7 mho m-1
4. Impedansi karakteristik saluran (Z_0) = 50 Ω

Parameter antenna radio:

1. VSWR : ≤ 2.0
2. Return Loss : $\leq -9,5$ dB

3.3.4 Spesifikasi Antena Televisi

Model: PF HD-19

Dengan frekuensi kerja : 471,25 MHz – 855,25 MHz

Channels: 21 - 69

Driven yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Bahan = Alumunium
2. Jumlah *Driven* = 2

Reflector yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Bahan = Alumunium
2. Jumlah *Reflector* = 6

Director yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Bahan = Alumunium
2. Jumlah *Director* = 12

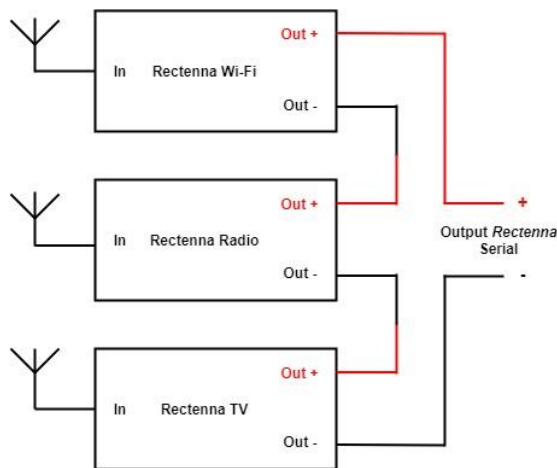
Bahan konduktor:

1. Bahan = Alumunium
2. Ketebalan bahan konduktor (t) = 0,0020 m = 2 mm
3. Konduktifitas alumunium (σ) = 3.77×10^7 mho m-1
4. Impedansi karakteristik saluran (Z_0) = 75 Ω

Parameter antena yagi televisi:

1. VSWR : 2,5
2. Return Loss : - 7,3 dB

3.3.5 Perancangan *Rectenna* Yang Disusun Secara Serial



Gambar 3.5 *Rectenna* (*rectifier antenna*) yang disusun seri
(Sumber: Perancangan)

Rectenna (*rectifier antenna*) disusun secara serial yang ditunjukkan pada gambar 3.4. Gambar 3.4 adalah gambar beberapa jenis *rectenna* yang disusun serial untuk memanen gelombang elektromagnetik dan berfungsi untuk penambahan tegangan pada *output rectifier*.

3.4 Pengujian

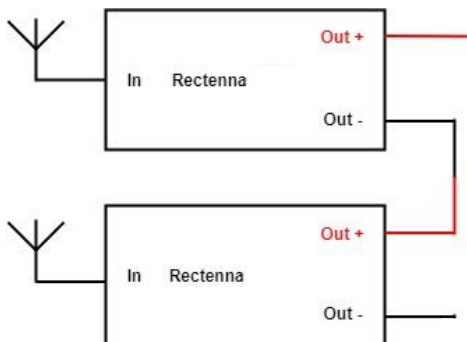
Pengujian dilakukan melalui pengukuran terhadap *rectenna*. Pengukuran ini meliputi :

1. Percobaan pengukuran *rectenna* (Wi-Fi, Televisi, Radio).



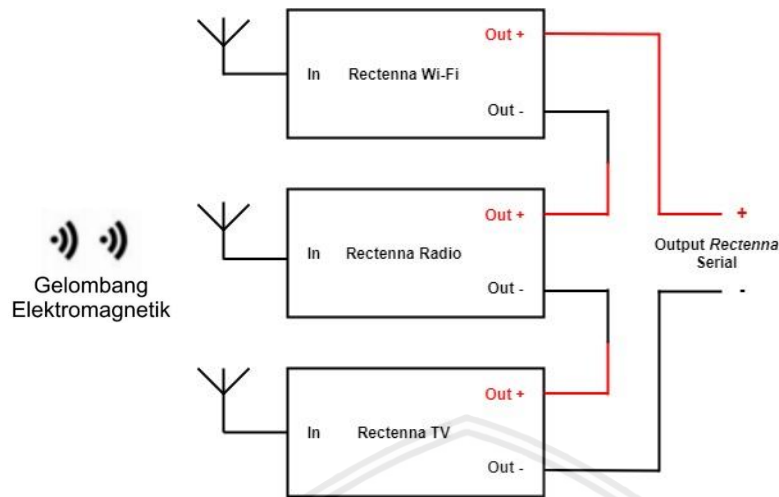
Gambar 3.6 Satu system *rectenna*

2. Percobaan peningkatkan tegangan *output* pada *rectenna*.



Gambar 3.7 Dua system *rectenna*

3. Percobaan pengukuran jenis – jenis *rectenna* yang disusun secara serial terhadap tegangan *output rectenna*.

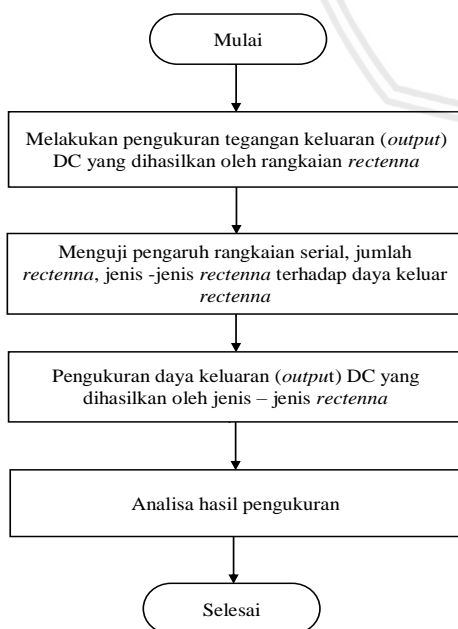


Gambar 3.8 Macam – macam *rectenna* yang disusun secara serial

4. Percobaan pengaruh jenis – jenis *rectenna* terhadap tegangan *output rectenna*.

3.5 Analisis

Analisis dilakukan untuk menguji *rectenna* yang mampu memanen gelombang elektromagnetik dan meningkatkan tegangan *output* yang lebih besar daripada sebuah *rectenna*, pengaruh jumlah dan pengaruh jenis – jenis *rectenna* terhadap tegangan *output rectenna*. Kemudian dilakukan pengukuran tegangan *output* DC yang dihasilkan oleh rangkaian *rectenna*. Serta perhitungan nilai kapasitor (C) yang efektif untuk mengurangi *ripple* pada masing – masing *rectenna*. Untuk lebih jelas akan dijelaskan pada gambar 3.8.



Gambar 3.9 Diagram alir analisa

3.6 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Pengambilan kesimpulan ditulis berdasarkan hasil analisis dan pengujian *rectenna* yang dilakukan. Pada bagian ini dijelaskan secara singkat tentang hasil yang telah dicapai beserta saran untuk pengembangan selanjutnya.



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Tinjauan Umum

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai prosedur pengujian tegangan *output rectenna* yang diperoleh serta analisisnya. Dengan demikian akan diketahui performansi dari *rectenna* yang telah dibuat.

Tujuan utama dari pengukuran ini adalah untuk mendapatkan dan mengetahui berapa tegangan *output* yang dihasilkan oleh rangkaian *rectenna* yang disusun secara seri melalui pengukuran langsung. Adapun hal yang dibahas meliputi :

1. Pengukuran antena (Wi-Fi, Televisi, Radio).
2. Pengukuran *rectenna* (Wi-Fi, Televisi, Radio).
3. Peningkatkan tegangan *output* pada *rectenna*.
4. Pengukuran jenis – jenis *rectenna* yang disusun secara serial terhadap tegangan *output rectenna*.
5. Pengaruh jenis – jenis *rectenna* terhadap tegangan *output rectenna*.
6. Perhitungan matematis antena dan *rectenna*.

4.2. Pengukuran Antena

Sebuah *rectenna* akan diuji dengan melakukan pengukuran tegangan *output* AC pada antena sebuah *rectenna* untuk mengetahui seberapa besar tegangan *output* yang dihasilkan oleh antena tersebut.

4.2.1 Tujuan Pengukuran Antena

Adapun tujuan dari pengukuran antena kali ini, adalah :

1. Untuk mengetahui nilai tegangan *output* dari antena Wi-Fi.
2. Untuk mengetahui nilai tegangan *output* dari antena Radio.
3. Untuk mengetahui nilai tegangan *output* dari antena Televisi.

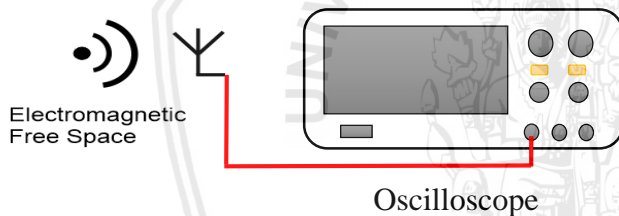
4.2.2 Peralatan Yang Digunakan Untuk Pengukuran Antena (Wi-Fi/Radio/Televisi)

Beberapa peralatan yang perlu dipersiapkan untuk melakukan pengukuran *rectenna* (WiFi/Radio/Televisi) antara lain :

- Antena Wi-Fi

1. Antena mikrostrip *Elliptical Shape On Star Patch* (1 buah)
 2. *Oscilloscope Digital* (1 buah)
 3. Kabel *jumper* (1 buah)
- Antena Radio
 1. Antena monopole radio teleskopik (1 buah)
 2. *Oscilloscope Digital* (1 buah)
 3. Kabel *jumper* (1 buah)
 - Antena Televisi
 1. Antena yagi PF HD-19 (1 buah)
 2. *Oscilloscope Digital* (1 buah)
 3. Kabel *jumper* (1 buah)

4.2.3 Prosedur Pengukuran Antena (Wi-Fi/Radio/Televisi)



Gambar 4.1 Rangkaian pengukuran antena
(Sumber: Pengujian)

Berikut ini merupakan prosedur pengukuran antena, antara lain :

1. Susun rangkaian seperti pada gambar 4.1.
2. Sesuaikan pengukuran dengan jenis antena yang ingin diukur (Wi-Fi /Radio/Televisi).
3. Antena penerima menggunakan:
 - a. Antena mikrostrip *Elliptical Shape On Star Patch* (Wi-Fi)
 - b. Antena *monopole* teleskopik (Radio)
 - c. Antena yagi PF HD-19 (Televisi)
4. Mengatur antena penerima (Wi-Fi/Radio/Televisi). Dengan menghubungkan kabel *jumper* dari *output* antena ke *input oscilloscope* CH1.
5. Hidupkan *oscilloscope*, atur *probe* 1x, atur *input AC*, kemudian tekan *autoset* dan tekan *measurement*.

6. Ukur tegangan *output* antena pada *oscilloscope*, setelah mendapatkan nilai tegangan AC dari *display oscilloscope*, maka catat hasil pengukuran.

4.2.4 Hasil Pengukuran Antena (Wi-Fi/Radio/Televisi)

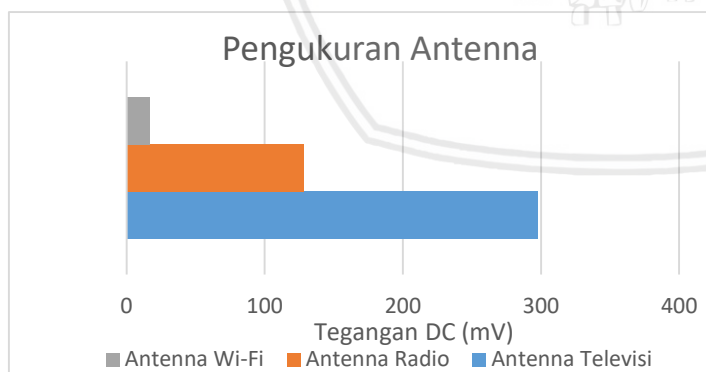
Dalam pengukuran antena, dilakukan satu jenis antena (Wi-Fi/ Radio/Televisi). Antena ini pada mulanya diukur untuk mengetahui performansi masing – masing jenis antena, pengukuran pertama adalah pengukuran antena Wi-Fi, kedua pengukuran antena radio, dan ketiga pengukuran antena televisi, berikut merupakan hasil pengukuran masing – masing antena.

Setelah dilakukan rangkaian pada gambar 4.1 dan kemudian dilakukan pengukuran, maka keluar nilai tegangan *output* untuk masing – masing jenis antena yang terbaca pada layar *oscilloscope*. Nilai beserta grafik tegangan *output* AC dapat dilihat pada gambar 4.2 dan tabel 4.1 berikut:

Antenna	Output Antenna (mV)
Antenna Wi-Fi	17
Antenna Radio	128
Antenna TV	298

Tabel 4.1 Hasil pengukuran antena

(Sumber : Hasil pengujian)



Gambar 4.2 Grafik pengukuran antena

(Sumber : Hasil pengujian)

Hasil pengukuran antena diatas menunjukkan bahwa tiap jenis antena mempunyai nilai tegangan *output* yang berbeda. Adapun tegangan yang didapatkan antena Wi-Fi adalah 17 mV, antena Radio adalah 128 mV, dan antena Televisi adalah 298 mV

4.3 Pengukuran *Rectenna*

Sebuah *rectenna* akan diuji dengan pengukuran tegangan *output* DC. Dalam pengukuran sistem *rectenna*, *rectenna* yang diukur memiliki macam – macam *rectenna* yang berbeda. Tiap satu sistem *rectenna* masing – masing memiliki *rectifier* yang sama namun memiliki antena yang berbeda. Macam – macam *rectenna* ini pada mulanya diukur untuk mengetahui masing – masing tegangan *output* yang dihasilkan.

4.3.1 Tujuan Pengukuran *Rectenna*

Adapun tujuan dari pengukuran *rectenna* kali ini, adalah :

1. Untuk mengetahui nilai tegangan *output* dari *rectenna* Wi-Fi.
2. Untuk mengetahui nilai tegangan *output* dari *rectenna* Radio.
3. Untuk mengetahui nilai tegangan *output* dari *rectenna* Televisi.

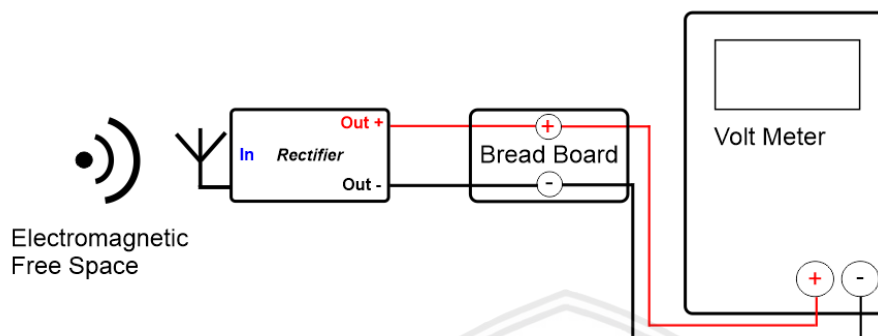
4.3.2 Peralatan Yang Digunakan Untuk Pengukuran *Rectenna* (Wi-Fi/Radio/Televisi)

Beberapa peralatan yang perlu dipersiapkan untuk melakukan pengukuran *rectenna* (WiFi/Radio/Televisi) antara lain :

- *Rectenna* Wi-Fi
 1. Antena mikrostrip *Elliptical Shape On Star Patch* (1 buah)
 2. *Full wave rectifier* (1 buah)
 3. SMA *barrel* konektor *male-to-male* (1 buah)
 4. Multimeter (1 buah)
 5. *Bread board* (1 buah)
 6. Adaptor (1 buah)
 7. ZTE 2,4 GHz Router (1 buah)
- *Rectenna* Radio
 1. Antena monopole radio teleskopik (1 buah)
 2. *Full wave rectifier* (1 buah)
 3. SMA *barrel* konektor *male-to-male* (1 buah)
 4. Multimeter (1 buah)
 5. *Bread board* (1 buah)
- *Rectenna* Televisi
 1. Antena yagi PF HD-19 (1 buah)
 2. *Full wave rectifier* (1 buah)
 3. SMA *barrel* konektor *male-to-male* (1 buah)

4. Multimeter (1 buah)
5. *Bread board* (1 buah)

4.3.3 Prosedur Pengukuran *Rectenna* (Wi-Fi/Radio/Televisi)



Gambar 4.3 Rangkaian pengukuran *rectenna*
(Sumber: Pengujian)

Berikut ini merupakan prosedur pengukuran *rectenna*, antara lain :

1. Susun rangkaian seperti pada gambar 4.3.
2. Sesuaikan pengukuran dengan jenis *rectenna* yang ingin diukur (Wi-Fi /Radio/Televisi).
3. Antena penerima menggunakan:
 - a. Antena mikrostrip *Elliptical Shape On Star Patch* (Wi-Fi)
 - b. Antena *monopole* teleskopik (Radio)
 - c. Antena yagi PF HD-19 (Televisi)
4. Masing – masing antena mempunyai pasangan dengan *full wave rectifier*, dimana *rectifier* yang digunakan memiliki spesifikasi yang sama.
5. Mengatur antena penerima dengan *rectifier* (Wi-Fi/Radio/Televisi). Dengan menghubungkan *barrel SMA konektor male-to-male* untuk *rectenna* Wi-Fi/Radio, sedangkan untuk *rectenna* televisi menggunakan kabel coaxial dengan *port* konektor televisi *male-to-male*. Pastikan konektor terhubung dengan sempurna.
6. Hidupkan multimeter dan pilih mode voltmeter dengan pengukuran tegangan DC.
7. Hubungkan *output rectenna* ke *bread board* menggunakan jumper *female-to-male*.
8. Ukur tegangan *output rectenna* pada *bread board*, setelah mendapatkan nilai tegangan DC dari *display* multimeter, maka catat hasil pengukuran. Ulangi

pengukuran sebanyak 4 kali untuk mendapatkan rata – rata tegangan *output* untuk masing – masing *rectenna*.

4.3.4 Hasil Pengukuran *Rectenna*

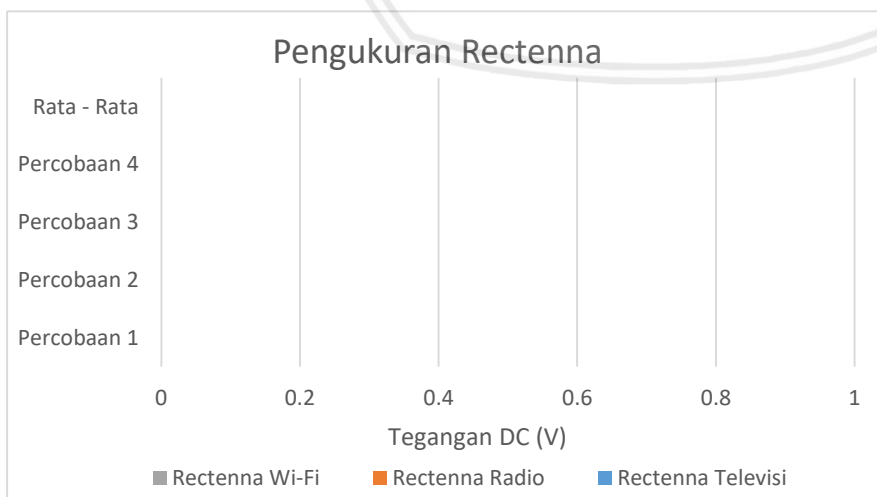
Dalam pengukuran *rectenna*, dilakukan satu *rectifier* dan satu jenis antena (Wi-Fi/ Radio/Televisi). Tiap *rectenna* masing – masing memiliki *rectifier* yang sama namun menggunakan antena yang berbeda. *Rectenna* ini pada mulanya diukur untuk mengetahui performansi masing – masing jenis *rectenna*, pengukuran pertama adalah pengukuran *rectenna* Wi-Fi, kedua pengukuran *rectenna* radio, dan ketiga pengukuran *rectenna* televisi, berikut merupakan hasil pengukuran masing – masing *rectenna*.

Setelah dilakukan rangkaian pada gambar 4.3 dan kemudian dilakukan pengukuran, maka keluar nilai tegangan *output* untuk masing – masing jenis *rectenna* yang terbaca pada layar voltmeter. Nilai beserta grafik tegangan *output* DC dapat dilihat pada gambar 4.4 dan tabel 4.2 berikut:

System Rectifier	Output Antenna (V)				
	1	2	3	4	Rata - Rata
<i>Rectenna</i> Wi-Fi	0	0	0	0	0
<i>Rectenna</i> Radio	0	0	0	0	0
<i>Rectenna</i> TV	0	0	0	0	0

Tabel 4.2 Hasil pengukuran *rectenna*

(Sumber : Hasil pengujian)



Gambar 4.4 Grafik pengukuran *rectenna*

(Sumber : Hasil pengujian)

Hasil pengukuran *rectenna* diatas menunjukkan bahwa tiap jenis *rectenna* mempunyai nilai tegangan *output* yang berbeda. Sehingga dapat dikatakan masing – masing jenis *rectenna* bekerja dengan kemampuan terbaik untuk menghasilkan tegangan *output* dari masing – masing *rectenna*. Adapun tegangan yang didapatkan *rectenna* Wi-Fi adalah 0 V dengan rata – rata tegangan *output* 0 V, *rectenna* Radio adalah 0 V dengan rata – rata tegangan *output* 0 V, dan *rectenna* Televisi adalah 0 V dengan rata – rata tegangan *output* 0 V.

4.4 Peningkatan Tegangan Output Pada Rectenna

Dalam peningkatan tegangan *output* pada *rectenna*, dilakukan penyusunan rangkaian *rectenna* sehingga didapatkan hasil tegangan *output* yang lebih baik daripada satu *rectenna*, untuk itu dilakukan penyusunan rangkaian *rectenna* secara seri dengan dua jenis *rectenna* yang berbeda yang diharapkan mendapat tegangan *output* yang lebih besar.

4.4.1 Tujuan Peningkatan Tegangan Output Pada Rectenna

Adapun tujuan dari peningkatan *output* pada *rectenna* kali ini, adalah :

1. Untuk mengetahui nilai tegangan *output* dari dua *rectenna*.yang disusun secara seri menggunakan *rectenna* Wi-Fi dan *rectenna* Radio.
2. Untuk mengetahui nilai tegangan *output* dari dua *rectenna*.yang disusun secara seri menggunakan *rectenna* Wi-Fi dan *rectenna* Televisi.
3. Untuk mengetahui nilai tegangan keluaran dari dua system.yang disusun secara seri menggunakan *rectenna* Radio dan *rectenna* Televisi.

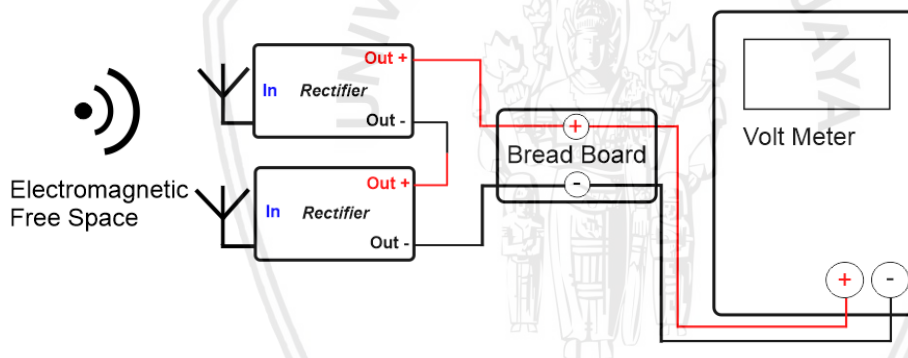
4.4.2 Peralatan Yang Digunakan Untuk Peningkatan Tegangan Output Pada Rectenna

Beberapa peralatan yang perlu dipersiapkan untuk melakukan peningkatan *output* pada *rectenna*, antara lain :

- *Rectenna* Wi-Fi
 1. Antena mikrostrip *Elliptical Shape On Star Patch* (1 buah)
 2. *Full wave rectifier* (1 buah)
 3. SMA *barrel* konektor *male-to-male* (1 buah)
 4. Multimeter (1 buah)
 5. *Bread board* (1 buah)
 6. Adaptor (1buah)
 7. ZTE 2,4 GHz Router (1 buah)

- *Rectenna* Radio
 1. Antena monopole radio teleskopik (1 buah)
 2. *Full wave rectifier* (1 buah)
 3. SMA barrel konektor *male-to-male* (1 buah)
 4. Multimeter (1 buah)
 5. *Bread board* (1 buah)
- *Rectenna* Televisi
 1. Antena yagi PF HD-19 (1 buah)
 2. *Full wave rectifier* (1 buah)
 3. SMA barrel konektor *male-to-male* (1 buah)
 4. Multimeter (1 buah)
 5. *Bread board* (1 buah)

4.4.3 Prosedur Peningkatan Tegangan *Output* Pada *Rectenna*



Gambar 4.5 Rangkaian peningkatan *output* pada *rectenna*

(Sumber : Pengujian)

Berikut ini merupakan prosedur peningkatan *output* pada *rectenna*, antara lain :

1. Susun rangkaian seperti pada gambar 4.5.
2. Sesuaikan pengukuran dengan jenis *rectenna* yang ingin diukur (Wi-Fi dan Radio/Wi-Fi dan Televisi/ Radio dan Televisi).
3. Antena penerima menggunakan:
 - a. Antena mikrostrip *Elliptical Shape On Star Patch* (Wi-Fi)
 - b. Antena monopole teleskopik (Radio)
 - c. Antena yagi PF HD-19 (Televisi)
4. Masing – masing antena mempunyai pasangan dengan *full wave rectifier*, dimana *rectifier* yang digunakan memiliki spesifikasi yang sama.

5. Mengatur antena penerima dengan *rectifier* (Wi-Fi/Radio/Televisi). Dengan menghubungkan *barrel* SMA konektor *male-to-male* untuk *rectenna* Wi-Fi/Radio, sedangkan untuk *rectenna* televisi menggunakan kabel coaxial dengan port konektor televisi *male-to-male*. Pastikan konektor terhubung dengan sempurna.
6. Hubungkan *output rectenna* ke *bread board* menggunakan jumper *female-to-male*.
7. Kombinasikan *rectenna* yang ingin diukur (*rectenna* Wi-Fi dan Radio, *rectenna* Wi-Fi dan Televisi, *rectenna* radio dan Televisi), hubungkan secara seri pada *bread board* menggunakan kabel jumper *female-to-male*.
8. Hidupkan multimeter dan pilih mode voltmeter dengan pengukuran tegangan DC.
9. Ukur tegangan *output rectenna* pada *bread board*, setelah mendapatkan nilai tegangan DC dari display multimeter, maka catat hasil pengukuran. Ulangi pengukuran sebanyak 4 kali untuk mendapatkan rata – rata tegangan *output* untuk masing – masing kombinasi *rectenna*.

4.4.4 Hasil Peningkatan Tegangan Output Pada Rectenna

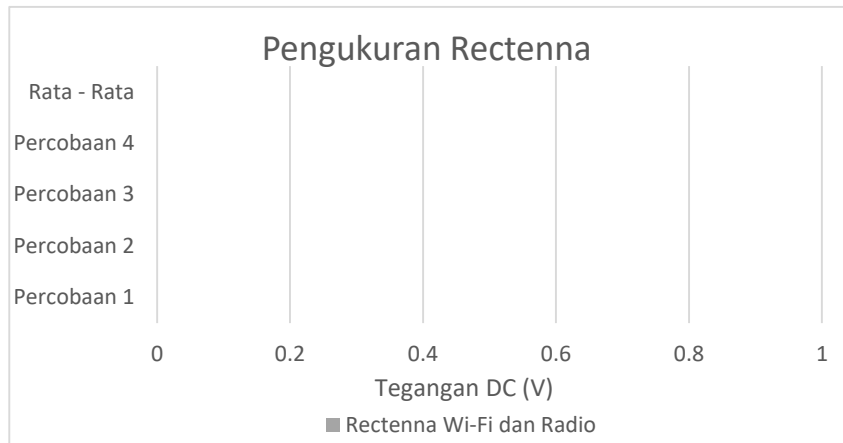
Dalam meningkatkan *output* pada *rectenna*, dilakukan penyusunan kombinasi *rectenna* sehingga didapatkan hasil tegangan *output* yang lebih besar dari *rectenna*, untuk itu dilakukan penyusunan rangkaian *rectenna* secara seri dengan dua kombinasi *rectenna* yang diharapkan mendapatkan tegangan *output* yang lebih besar.

Setelah dilakukan rangkaian pada gambar 4.5 dan kemudian dilakukan pengukuran, maka nilai kombinasi *rectenna* dapat terbaca pada layar voltmeter. Nilai beserta grafik tegangan *output* DC dapat dilihat pada gambar 4.6 dan tabel 4.3 berikut:

System Rectifier	Output Antenna (V)				Rata – Rata
	1	2	3	4	
Wi-Fi dan Radio	0	0	0	0	0
Wi-Fi dan TV	0	0	0	0	0
Radio dan TV	0	0	0	0	0

Tabel 4.3 Hasil pengukuran peningkatan *output* pada *rectenna*

(Sumber: Hasil pengujian)



Gambar 4.6 Grafik pengukuran peningkatan *output* pada *rectenna* (Sumber: Hasil pengujian)

Hasil peningkatan *output* pada *rectenna* didapatkan dari kombinasi *rectenna* yang disusun secara seri adalah *rectenna* Wi-Fi dan Radio adalah 0 V dengan rata – rata tegangan *output* 0 V, *rectenna* Wi-Fi dan Televisi adalah 0 V dengan rata – rata tegangan *output* 0 V, dan *rectenna* Radio dan Televisi adalah 0 V dengan rata – rata tegangan *output* 0 V.

4.5 Pengukuran Jenis – Jenis *Rectenna* Yang Disusun Secara Serial Terhadap Tegangan *Output Rectenna*.

Pengukuran *rectenna* diukur secara seri dengan dua *rectenna* yang berbeda telah dilakukan pada subbab sebelumnya, pada subbab ini dilakukan pengukuran *rectenna* secara seri dengan lebih dari dua jenis *rectenna*, dalam studi kasus ini akan dilakukan dengan menyusun *rectenna* secara seri dengan tiga *rectenna* yang berbeda.

4.5.1 Tujuan Pengukuran Jenis – Jenis *Rectenna* Yang Disusun Secara Serial Terhadap Tegangan *Output Rectenna*.

Adapun tujuan pengukuran jenis – jenis *rectenna* yang disusun secara serial terhadap tegangan *output rectenna* kali ini, adalah :

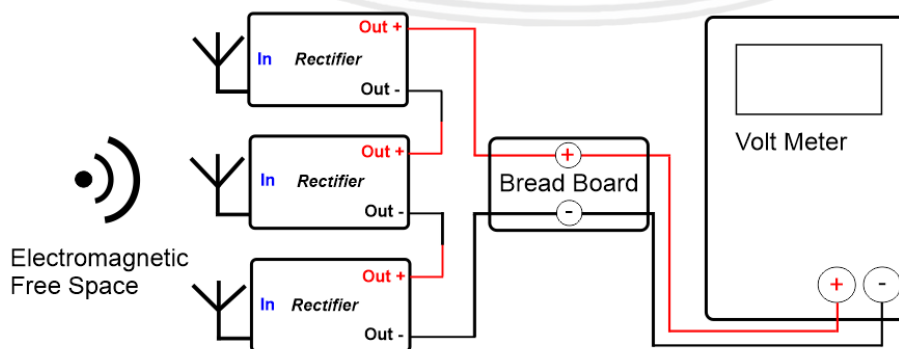
1. Untuk mengetahui nilai tegangan *output rectenna* yang menggunakan lebih dari dua *rectenna* yang disusun secara seri menggunakan jenis – jenis *rectenna* yang berbeda.

4.5.2 Peralatan Yang Digunakan Untuk Pengukuran Jenis – Jenis *Rectenna* Yang Disusun Secara Serial Terhadap Tegangan *Output Rectenna*

Beberapa peralatan yang perlu dipersiapkan untuk melakukan pengukuran *output* pada *rectenna* antara lain :

- *Rectenna* Wi-Fi
 1. Antena mikrostrip *Elliptical Shape On Star Patch* (1 buah)
 2. *Full wave rectifier* (1 buah)
 3. SMA barrel konektor *male-to-male* (1 buah)
 4. Multimeter (1 buah)
 5. *Bread board* (1 buah)
 6. Adaptor (1 buah)
 7. ZTE 2,4 GHz Router (1 buah)
- *Rectenna* Radio
 1. Antena monopole radio teleskopik (1 buah)
 2. *Full wave rectifier* (1 buah)
 3. SMA barrel konektor *male-to-male* (1 buah)
 4. Multimeter (1 buah)
 5. *Bread board* (1 buah)
- *Rectenna* Televisi
 1. Antena yagi PF HD-19 (1 buah)
 2. *Full wave rectifier* (1 buah)
 3. SMA barrel konektor *male-to-male* (1 buah)
 4. Multimeter (1 buah)
 5. *Bread board* (1 buah)

4.5.3 Prosedur Pengukuran Jenis – Jenis *Rectenna* Yang Disusun Secara Serial Terhadap Tegangan *Output Rectenna*



Gambar 4.7 Rangkaian pengukuran jenis – jenis *rectenna* yang disusun secara serial terhadap tegangan *output rectenna*

(Sumber: Pengujian)

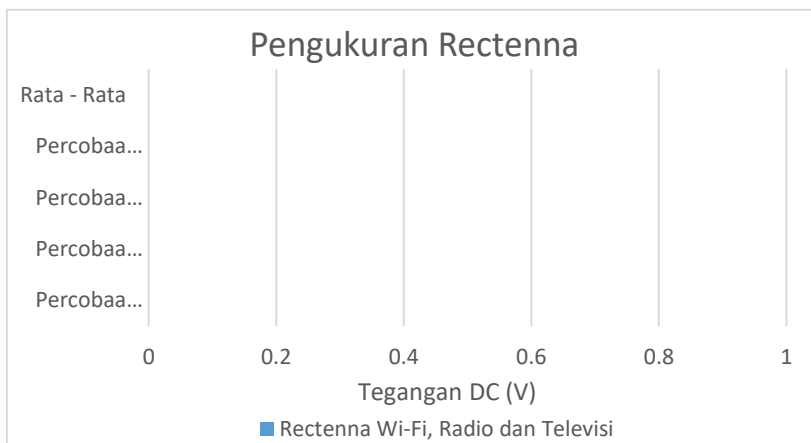
Berikut ini merupakan prosedur pengukuran jenis – jenis *rectenna* yang disusun secara serial terhadap tegangan *output rectenna* antara lain :

1. Susun rangkaian seperti pada gambar 4.7.
2. Sesuaikan pengukuran dengan jenis *rectenna* yang ingin diukur (Wi-Fi, Radio dan Televisi).
3. Antena penerima menggunakan:
 - a. Antena mikrostrip *Elliptical Shape On Star Patch* (Wi-Fi)
 - b. Antena monopole teleskopik (Radio)
 - c. Antena yagi PF HD-19 (Televisi)
4. Masing – masing antena mempunyai pasangan dengan *full wave rectifier*, dimana *rectifier* yang digunakan memiliki spesifikasi yang sama.
5. Mengatur antena penerima dengan *rectifier* (Wi-Fi, Radio dan Televisi). Dengan menghubungkan *barrel SMA* konektor *male-to-male* untuk *rectenna* Wi-Fi/Radio, sedangkan untuk *rectenna* televisi menggunakan kabel coaxial dengan port konektor televisi *male-to-male*. Pastikan konektor terhubung dengan sempurna.
6. Hubungkan *output rectenna* ke *bread board* menggunakan jumper *female-to-male*.
7. Kombinasikan *rectenna* yang ingin diukur (*rectenna* Wi-Fi, Radio dan Televisi), hubungkan secara seri pada *bread board* menggunakan kabel jumper *female-to-male*.
8. Hidupkan multimeter dan pilih mode voltmeter dengan pengukuran tegangan DC.
9. Ukur tegangan *output rectenna* pada *bread board*, setelah mendapatkan nilai tegangan DC dari display multimeter, maka catat hasil pengukuran. Ulangi pengukuran sebanyak 4 kali untuk mendapatkan rata – rata tegangan *output* untuk masing – masing kombinasi *rectenna*.

4.5.4 Hasil Pengukuran Jenis – Jenis *Rectenna* Yang Disusun Secara Serial Terhadap Tegangan *Output Rectenna*.

Dalam penyusunan *rectenna* secara seri dengan lebih dari dua *rectenna*, dalam studi kasus ini akan dilakukan dengan menyusun *rectenna* secara seri dengan tiga jenis *rectenna* yang berbeda. Berikut merupakan hasil pengukuran *rectenna* dengan tiga jenis *rectenna* yang berbeda yang disusun secara seri.

Setelah dilakukan rangkaian pada gambar 4.7 dan kemudian dilakukan pengukuran, maka nilai kombinasi *rectenna* dapat terbaca pada layar voltmeter. Nilai beserta grafik tegangan *output* DC dapat dilihat pada gambar 4.8 dan tabel 4.4 berikut:



Gambar 4.8 Grafik pengukuran jenis – jenis *rectenna* yang disusun secara serial terhadap tegangan *output rectenna*
(Sumber: Hasil pengujian)

System Rectifier	Output Antenna (V)				Rata – Rata
	1	2	3	4	
Wi-Fi, Radio dan Televisi	0	0	0	0	0

Tabel 4.4 Hasil percobaan pengaruh jumlah rangkaian seri
(Sumber: Hasil pengujian)

Hasil tegangan *output* pada *rectenna* yang disusun secara seri diatas memiliki tegangan *output* DC sebesar 0 V dengan rata – rata tegangan *output* V.

4.6 Analisis Pengaruh Jenis – Jenis *Rectenna* Terhadap Tegangan *Output Rectenna*

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengukuran *rectenna* pada subbab sebelumnya, maka kita dapat melakukan beberapa analisa. Pada tabel 4.5 berikut ini, diperlihatkan perbandingan tegangan *output* hasil pengukuran *rectenna*, peningkatan tegangan *output* pada *rectenna* dan pengaruh pengukuran jenis – jenis *rectenna* yang disusun secara serial terhadap tegangan *output rectenna*.

System Rectifier	Output Antenna (V)				
	1	2	3	4	Rata - Rata
<i>Rectenna</i> Wi-Fi	0	0	0	0	0
<i>Rectenna</i> Radio	0	0	0	0	0
<i>Rectenna</i> TV	0	0	0	0	0

Wi-Fi dan Radio	0	0	0	0	0
Wi-Fi dan TV	0	0	0	0	0
Radio dan TV	0	0	0	0	0
Wi-Fi, Radio, dan TV	0	0	0	0	0

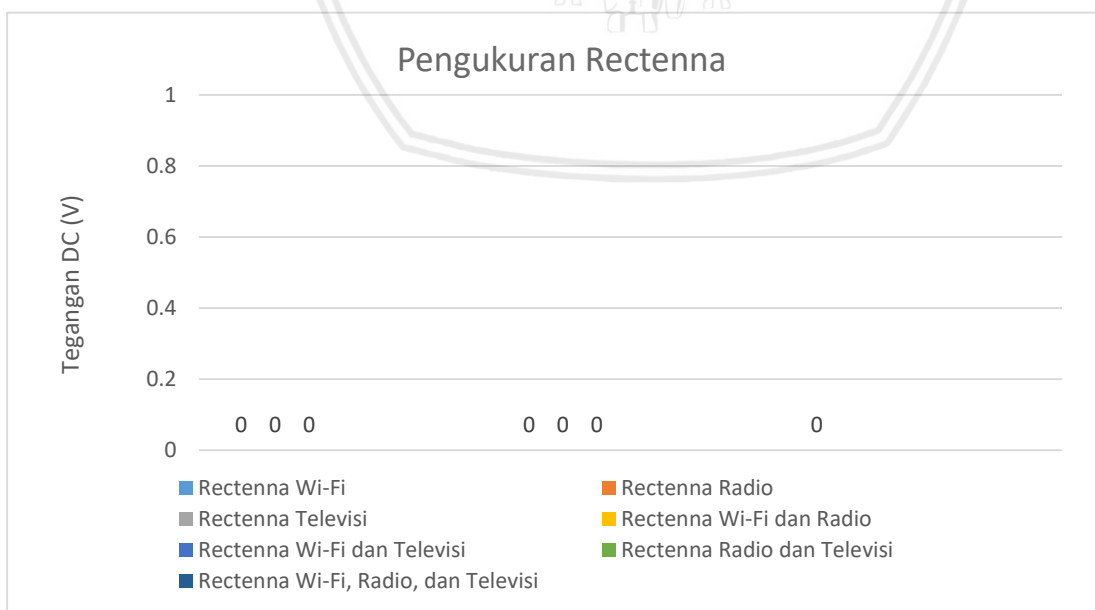
Tabel 4.5 Hasil perbandingan pengukuran tegangan *output rectenna*

(Sumber: Pengujian)

Kita dapat melihat bahwa nilai tegangan *output* hasil *rectenna* dari masing - masing *rectenna* mempunyai nilai tegangan *output* sebesar 0 V dikarenakan *output* tegangan dari antenna penerima tidak mencatu dioda germanium yang memiliki tegangan *barrier* dioda sebesar 0,3 V.

Kemudian untuk hasil peningkatan tegangan *output* pada *rectenna* mempunyai nilai tegangan *output* sebesar 0 V dikarenakan *output* tegangan dari antenna tidak mencatu dioda germanium yang memiliki tegangan *barrier* dioda sebesar 0,3 V ketika *rectenna* disusun secara serial.

Ketika hasil pengukuran *rectenna* dengan tiga *rectenna* yang berbeda yang disusun secara seri mempunyai nilai tegangan *output* sebesar 0 V dikarenakan *output* tegangan dari antenna tidak mencatu dioda germanium yang memiliki tegangan *barrier* dioda sebesar 0,3 V.



Gambar 4.9 Grafik hasil perbandingan rata – rata pengukuran tegangan *output rectenna*

(Sumber : Hasil pengujian)

4.7 Analisa Perhitungan Matematis Tegangan *Output Rectenna*

Berdasarkan data yang diperoleh dari tabel 4.5, maka kita dapat melakukan beberapa analisa. Pada tabel 4.5 berikut ini, diperlihatkan perbandingan tegangan *output rectenna* hasil pengukuran jenis – jenis *rectenna*, peningkatan tegangan *output* pada *rectenna* dengan kombinasi dua *rectenna* yang berbeda dan pengaruh jumlah rangkaian seri dengan menggunakan tiga jenis *rectenna* yang berbeda. Dari tabel 4.4 diambil hasil terakhir dengan menggunakan variabel *rectenna* Wi-Fi, Radio dan Televisi. Berdasarkan teori hukum kirchoff tegangan ($V_{tot} = V_{(avr)} \text{ Wi-Fi} + V_{(avr)} \text{ Radio} + V_{(avr)} \text{ Televisi}$). Dan pada hasil pengukuran *rectenna* didapatkan $V_{tot (avr)} = 0 \text{ V} + 0 \text{ V} + 0 \text{ V} = 0 \text{ V}$. Kemudian pada pengukuran tiga *rectenna* yang berbeda didapatkan $V_{tot} = 0 \text{ V}$ dengan rata – rata 0 V.

4.8 Perhitungan Matematis Antena Dan *Rectenna*

Setelah dilakukan percobaan diatas bisa kita lakukan perhitungan matematis antara antena dan *rectenna*.

4.8.1 *Rectenna* Wi-Fi

Rectifier yang digunakan untuk *rectenna* Wi-Fi adalah *fullwave rectifier* dengan menggunakan 4 dioda *germanium glass* dengan nilai tegangan barrier dioda 0,3 V.

$$V_{out (rectifier)} = V_{out (ant)} - Vf_{(dioda)} \dots\dots\dots (4-1)$$

$$V_{out (rectifier)} = 17 \text{ mV} - 300 \text{ mV} \times 2$$

$$V_{out (rectifier)} = -583 \text{ mV}$$

Setelah dilakukan perhitungan matematis nilai *output rectenna* adalah -583 mV dimana nilai tegangan *output* dari antena tidak mampu mencatu tegangan *barrier* dioda yang bernilai 0,6 V sehingga nilai *output* pada *rectifier* bernilai 0 V.

4.8.2 *Rectenna* Radio

Rectifier yang digunakan untuk *rectenna* radio adalah *fullwave rectifier* dengan menggunakan 4 dioda *germanium glass* dengan nilai tegangan barrier dioda 0,3 V.

$$V_{out (rectifier)} = V_{out (ant)} - Vf_{(dioda)} \dots\dots\dots (4-2)$$

$$V_{out (rectifier)} = 128 \text{ mV} - 300 \text{ mV} \times 2$$

$$V_{out (rectifier)} = -472 \text{ mV}$$

Setelah dilakukan perhitungan matematis nilai *output rectenna* adalah -472 mV dimana nilai tegangan *output* dari antena tidak mampu mencatu tegangan *barrier* dioda yang bernilai 0,6 V sehingga nilai *output* pada *rectifier* bernilai 0 V.

4.8.3 Rectenna Televisi

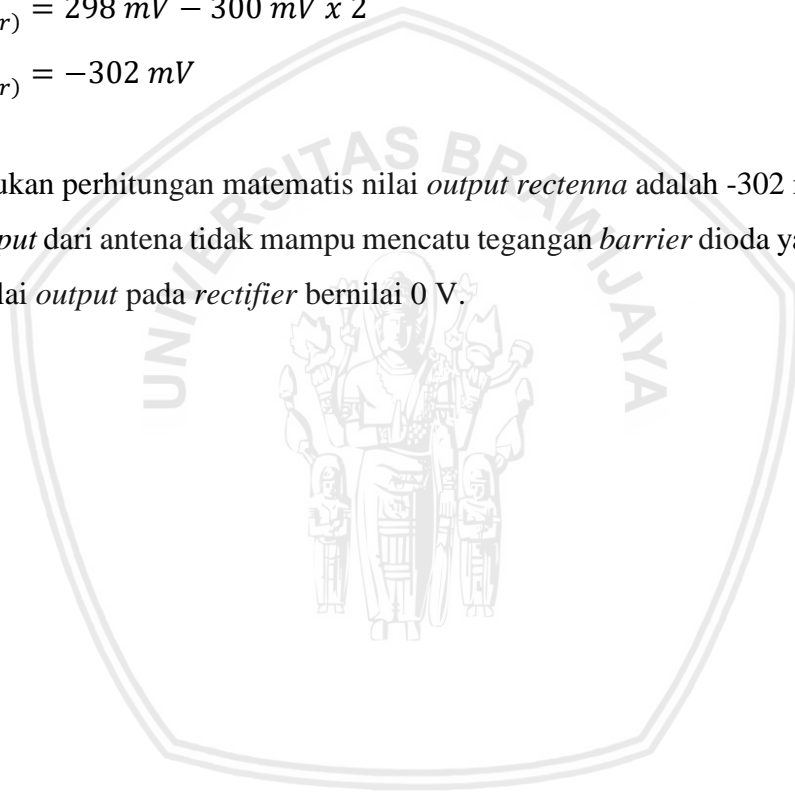
Rectifier yang digunakan untuk *rectenna* televisi adalah *fullwave rectifier* dengan menggunakan 4 dioda *germanium glass* dengan nilai tegangan *barrier* dioda 0,3 V.

$$V_{out(rectifier)} = V_{out(ant)} - Vf_{(dioda)} \dots\dots\dots (4-3)$$

$$V_{out(rectifier)} = 298 \text{ mV} - 300 \text{ mV} \times 2$$

$$V_{out(rectifier)} = -302 \text{ mV}$$

Setelah dilakukan perhitungan matematis nilai *output rectenna* adalah -302 mV dimana nilai tegangan *output* dari antena tidak mampu mencatu tegangan *barrier* dioda yang bernilai 0,6 V sehingga nilai *output* pada *rectifier* bernilai 0 V.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, pengukuran, serta analisis dari *rectenna* (*rectifier antenna*), dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil perancangan dan pengukuran, diperoleh nilai tegangan *output rectenna* sebagai berikut:

System Rectifier	Output Antenna (V)				
	1	2	3	4	Rata - Rata
<i>Rectenna</i> Wi-Fi	0	0	0	0	0
<i>Rectenna</i> Radio	0	0	0	0	0
<i>Rectenna</i> TV	0	0	0	0	0
Wi-Fi dan Radio	0	0	0	0	0
Wi-Fi dan TV	0	0	0	0	0
Radio dan TV	0	0	0	0	0
Wi-Fi, Radio, dan TV	0	0	0	0	0

Tabel 5.1 Hasil perbandingan pengukuran tegangan *output rectenna*
(Sumber: Pengujian)

Dimana hasil tegangan *output rectenna* Wi-Fi 0 V dengan rata – rata 0 V, *rectenna* Radio 0 V dengan rata – rata 0 V, *rectenna* Televisi 0 V dengan rata – rata 0 V.

Hasil ketika *rectenna* disusun secara serial menggunakan dua jenis *rectenna* dan tiga jenis *rectenna* yang berbeda dengan hasil 0 mV dengan rata – rata 0 mV.

2. Karena *output* tegangan yang dihasilkan dari antena bernilai kecil sehingga tidak mencatu nilai tegangan *barrier* dioda *germanium glass* yang bernilai 0,3 V maka nilai tegangan *output* pada *rectifier* bernilai 0 V.
3. Hasil tegangan *output* antena relatif dikarenakan antena langsung memanen gelombang elektromagnetik yang ada di sekitar, dan tergantung pada lokasi pengambilan data hasil tegangan *output* antena.

5.2 Saran

Adapun saran yang ingin penulis berikan demi pengembangan skripsi ini selanjutnya, antara lain :

1. Melakukan penelitian dan pengukuran untuk menambah *output* tegangan yang didapatkan *rectenna* dengan cara merubah *rectifier*, menambah *voltage booster* atau rangkaian pengali tegangan.
2. Untuk mendapatkan hasil *output* tegangan yang lebih maksimal, dapat melakukan proses *pe-matching-an* antena dan rangkaian *rectifier* yang berguna untuk meminimalisir tegangan yang hilang dan rugi-rugi pada *rectenna*.



DAFTAR PUSTAKA

- Balanis, Constantine A. 2005. *Antena Theory: Analysis and Design, 3rd Edition*. John Wiley and Sons, Inc.
- Dan S, Tefan Tudose. 2013. *Rectifier Antenna Design for Wireless Sensor Networks*. Bucharest, Romania: Polytechnic University of Bucharest.
- Hamdany, Mohammad Azharie. 2016. *Perancangan Rectifier Antenna Secara Serial Dalam Upaya Penambahan Daya*. Skripsi, Universitas Brawijaya.
- Nakar, Punit S. 2004. *Design of a Compact Microstrip Patch Antena for use in Nirkabel/Cellular Devices*. Thesis, The Florida State University.
- Palupi, Dyah Retno. 2013. *Perancangan Dan Analisis Rangkaian Rectifer Pada Rectenna Menggunakan Antena Televisi*. Malang: Jurnal Teknik Elektro Vol 2 No 6 Universitas Brawijaya.
- Parubak, Dirthon. 2014. *Rancang Bangun Antena Penyearah (Rectifier Antenna) Untuk Pemanen Energi Elektromagnetik Pada Frekuensi GSM 1800 MHz*. Skripsi, Universitas Brawijaya.
- Purba, Ornal Putra. 2012. *Simulasi Model Antena Yagi Untuk Aplikasi 3G Menggunakan Simulator ANSOFT HFSS v10*. Universitas Sumatera Utara.
- Tuwono, Tito. 2008. *Yagi Antenna Design For Wireless LAN 2,4 GHz*. Universitas Islam Indonesia.
- Visser. Hubregt J. 2001. *Ambient RF Energy Scavenging: GSM and WLAN Power Density Measurements. Proceedings of the 38th European Microwave Convergence* p.721-724.
- Yuwono, Rudy, et al. 2015. *The Additional Elliptical Shape On Star Patch Microstrip Antenna For Dual UWB*. IEEE Journal. Doi: 10.1109/QiR.2015.7374881
http://bcj.org/antennae/lte_yagi_diy.htm (diakses pada tanggal 09 Mei 2019)
<http://elektronika-dasar.web.id/teori-elektronika/konsep-dasar-penyearah-gelombang-rectifier/> (diakses pada tanggal 09 Mei 2019)
https://www.eleceng.adelaide.edu.au/students/wiki/projects/index.php/Projects:2014S1-12_Exploring_RF_Energy_Harvesting_for_Wearable_Sensors (diakses pada tanggal 09 Mei 2019)

DAFTAR PUSTAKA

- Balanis, Constantine A. 2005. *Antena Theory: Analysis and Design, 3rd Edition*. John Wiley and Sons, Inc.
- Dan S, Tefan Tudose. 2013. *Rectifier Antenna Design for Wireless Sensor Networks*. Bucharest, Romania: Polytechnic University of Bucharest.
- Hamdany, Mohammad Azharie. 2016. *Perancangan Rectifier Antenna Secara Serial Dalam Upaya Penambahan Daya*. Skripsi, Universitas Brawijaya.
- Nakar, Punit S. 2004. *Design of a Compact Microstrip Patch Antena for use in Nirkabel/Cellular Devices*. Thesis, The Florida State University.
- Parubak, Dirthon. 2014. *Rancang Bangun Antena Penyearah (Rectifier Antenna) Untuk Pemanen Energi Elektromagnetik Pada Frekuensi GSM 1800 MHz*. Skripsi, Universitas Brawijaya.
- Purba, Ornal Putra. 2012. *Simulasi Model Antena Yagi Untuk Aplikasi 3G Menggunakan Simulator ANSOFT HFSS v10*. Universitas Sumatera Utara.
- Tuwono, Tito. 2008. *Yagi Antenna Design For Wireless LAN 2,4 GHz*. Universitas Islam Indonesia.
- Visser. Hubregt J. 2001. *Ambient RF Energy Scavenging: GSM and WLAN Power Density Measurements. Proceedings of the 38th European Microwave Convergence* p.721-724.
- Yuwono, Rudy, et al. 2015. *The Additional Elliptical Shape On Star Patch Microstrip Antenna For Dual UWB*. IEEE Journal. **Doi:** [10.1109/QiR.2015.7374881](https://doi.org/10.1109/QiR.2015.7374881)
http://bcbj.org/antennae/lte_yagi_diy.htm (diakses pada tanggal 09 Mei 2019)
<http://elektronika-dasar.web.id/teori-elektronika/konsep-dasar-penyearah-gelombang-rectifier/> (diakses pada tanggal 09 Mei 2019)
https://www.eleceng.adelaide.edu.au/students/wiki/projects/index.php/Projects:2014S1-12_Exploring_RF_Energy_Harvesting_for_Wearable_Sensors (diakses pada tanggal 09 Mei 2019)