

**IMPLEMENTASI *RADIO FREQUENCY ENERGY HARVESTING* PADA
FREKUENSI KERJA WIFI 2,4 GHZ UNTUK PERANGKAT
BERTEGANGAN DC RENDAH**

(Skripsi)

Oleh

**ESTER NOVI ANDRIANI
NPM 1817041036**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

IMPLEMENTASI *RADIO FREQUENCY ENERGY HARVESTING* PADA FREKUENSI KERJA WIFI 2,4 GHZ UNTUK PERANGKAT BERTEGANGAN DC RENDAH

Oleh

ESTER NOVI ANDRIANI

Energi merupakan hal yang sangat penting dan dibutuhkan ketersediaannya dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu energi yang belum banyak dikenal dan diketahui namun ada di sekitar kita adalah gelombang frekuensi radio atau yang biasa dikenal dengan gelombang RF. Banyak energi yang tersebar dari perangkat yang memancarkan radio frekuensi yang tidak seluruhnya diterima oleh perangkat *receiver* namun terbuang percuma. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dibuat suatu teknologi yang disebut *energy harvesting* menggunakan suatu perangkat bernama *rectenna*. *Rectenna* merupakan perangkat yang terdiri dari antenna untuk menangkap gelombang serta *rectifier* sebagai media untuk mengkonversi gelombang elektromagnetik menjadi tegangan DC. Antena yang dirancang dalam penelitian ini menggunakan antenna *microstrip patch circular* yang difabrikasi menggunakan PCB FR-4 Epoxy. Sementara *rectifier* yang difabrikasi berjenis *voltage doubler 3 stage* dengan menggunakan *diode Schottky* BAT 17 sebagai komponen utamanya. Perancangan *rectenna* dilakukan berdasarkan hasil simulasi parameter menggunakan *software* HFSS dimana hasil terbaik didapatkan pada jari-jari *patch* sebesar 18 mm, panjang *feedline* 24 mm, serta lebar *feedline* 5 mm. Dimana nilai VSWR diperoleh sebesar 12,7312 dan *Return Loss* sebesar -4,0849. Selanjutnya hasil pengujian kinerja *rectenna* dengan sumber WiFi dilakukan pada 3 kondisi waktu berbeda yaitu pada pagi, siang, dan malam hari dengan hasil tegangan tertinggi masing-masing kondisi yaitu 74,69 mV, 56,77 mV, dan 80,78 mV.

Kata kunci : *radio frequency, energy harvesting, antenna, voltage doubler, rectenna.*

ABSTRACT

IMPLEMENTATION OF RADIO FREQUENCY (RF) ENERGY HARVESTING AT 2,4 GHZ FREQUENCY FOR LOW VOLTAGE DEVICES

By

ESTER NOVI ANDRIANI

Energy is very important and requires its availability in daily life. One of the unknown and widely known energies but is all around us is radio frequency waves or commonly known as RF waves. Most of the energy used from a radio frequency transmitting device is not fully received by the receiving device but is wasted. Therefore, in this study a technology called energy harvesting was created using a device called a rectenna. A rectenna is a device that consists of an antenna to capture the waves and a rectifier as a medium to convert electromagnetic waves into DC voltage. The antenna designed in this study uses a circular patch microstrip antenna fabricated using FR-4 Epoxy PCB. While the fabricated rectifier is a 3-stage voltage multiplier type using a BAT 17 Schottky diode as its main component. The rectenna design is based on parameter simulation results using HFSS software where the best results are obtained for a patch radius of 18 mm, feed line length of 24 mm, and feed line width of 5 mm. Where the VSWR value obtained is 12.7312 and the Return Loss is -4.0849. The results of testing the performance of the rectenna with a WiFi source were carried out at 3 different time conditions, in the morning, afternoon and evening, with the highest voltage results for each condition are 74.69 mV, 56.77 mV and 80.78 mV.

Keywords : *radio frequency, energy harvesting, antenna, voltage doubler, rectenna.*

**IMPLEMENTASI *RADIO FREQUENCY ENERGY HARVESTING* PADA
FREKUENSI KERJA WIFI 2,4 GHZ UNTUK PERANGKAT
BERTEGANGAN DC RENDAH**

Oleh

ESTER NOVI ANDRIANI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Penelitian : **IMPLEMENTASI RADIO FREQUENCY ENERGY HARVESTING PADA FREKUENSI KERJA WIFI 2,4 GHZ UNTUK PERANGKAT BERTEGANGAN DC RENDAH**

Nama Mahasiswa : **Ester Novi Andriani**


Nomor Pokok Mahasiswa : **1817041036**


Jurusan : **Fisika**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**




1. **Komisi Pembimbing**


Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si.
NIP 19710829 199703 2 001


Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP 19801010 200501 1 002

2. **Ketua Jurusan Fisika FMIPA**


Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP 198010102005011002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

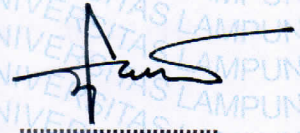
Ketua

: **Sri Wahyu Suciyati, S.Si., M.Si.**



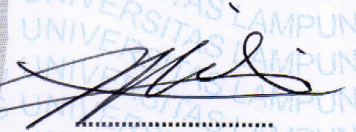
Sekretaris

: **Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**

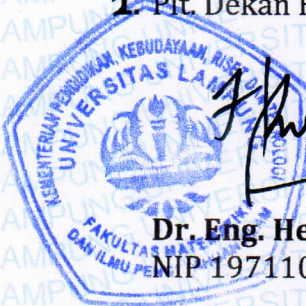


Penguji

Bukan Pembimbing : **Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.**



2. Plt. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP 19711001 200501 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **13 Maret 2023**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam skripsi ini tidak terdapat karya orang lain dan tidak terdapat pendapat atau karya yang ditulis oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwasannya skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

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

Bandar Lampung, 13 Maret 2023



Ester Novi Andriani
NPM 1817041036

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Ester Novi Andriani. Penulis dilahirkan di Tasikmalaya, 21 November 1999. Penulis merupakan anak pertama dari Bapak Yohanes Kusmanto dan Ibu Rismauli Siregar. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari TK Pelita Bandung, dilanjutkan ke SDN 04 Negara Ratu, kemudian melanjutkan pendidikan ke SMPN 01 Sungkai Utara, setelah itu menempuh pendidikan ke SMAN 01 Sungkai Utara dan Universitas Lampung, hingga akhirnya bisa menyelesaikan masa kuliah di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Penulis pernah mengikuti beberapa organisasi seperti *English Society* yang tergabung menjadi anggota pada cabang *News Casting* dan Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) sebagai anggota Minat dan Bakat. Pada Tahun 2021, penulis pernah menjadi peserta Pemilihan Mahasiswa Berprestasi tingkat Fakultas. Pada tahun yang sama, penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Fisika Inti dan Eksperimen, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung dengan penulisan laporan yang berjudul “Pengendali Waktu dan Temperatur Rendah Pada Oven Listrik Tipe National Menggunakan Temperature Controller Tipe XH W3001 dan Digital Timer Tipe KWE TM02-EU”. Selanjutnya penulis juga pernah melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Padangratu, Kecamatan Sungkai Utara, Kabupaten Lampung Utara, Provinsi Lampung pada bulan Agustus-September tahun 2021 selama 40 hari. Kemudian pada bulan Agustus-Desember 2022, penulis mengikuti kegiatan Studi Independen Kampus Merdeka dengan mengambil Kelas *Data Analyst* di Perusahaan Mitra yaitu MyEduSolve.

MOTTO

*“Karena masa depan sungguh ada, dan harapanmu tidak akan hilang”
~ Amsal 23 : 18 ~*

I have no special talent. I am only passionately curious.

~ Albert Einstein ~

The future depends on what we do in the present.

~ Mahatma Gandhi ~

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, saya persembahkan karya ini kepada :

**Kedua Orang Tua Saya
Bapak Yohanes Kusmanto dan Ibu Rismauli Siregar**

Terimakasih banyak untuk dukungan, semangat, dan doa yang tidak pernah jemu diberikan kepada penulis sehingga menjadikan motivasi bagi penulis untuk menyelesaikan pendidikan di Universitas Lampung sebagai seorang Sarjana Sains.

**Adiku Tersayang
Yulivia Hana Kusmanto**

Terimakasih untuk dukungan dan bantuan yang selama ini telah diberikan, sehingga penulis mampu berada pada tahap ini.

Keluarga Besar

Terimakasih kepada opung, mamak tua, bapak tua, makuo, pakuo, tante, om dan para sepupu ku yang selalu mendukung dan memberi semangat kepada penulis agar penulis dapat menyelesaikan pendidikan ini sesegera mungkin.

Ibu Farah dan Pak Alex

Terimakasih kepada Ibu Farah, Pak Alex dan juga Caesa yang banyak sekali membantu penulis selama penulis menempuh pendidikan di bangku kuliah ini.

Teman-teman

Terimakasih kepada teman-temanku yang selalu ada baik suka maupun duka, mendukung, memberikan semangat kepada penulis hingga dapat menyelesaikan pendidikan ini dengan baik.

Alamamater Tercinta

UNIVERSITAS LAMPUNG

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Implementasi *Radio Frequency Energy Harvesting* Pada Frekuensi Kerja WiFi 2,4 GHz Untuk Perangkat Bertegangan DC Rendah.**” Skripsi ini ditulis sebagai syarat untuk meraih gelar Sarjana Sains (S.Si.) pada bidang Fisika Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk perbaikan di masa yang akan datang. Akhir kata, semoga skripsi ini bermanfaat bukan hanya untuk penulis melainkan juga untuk para pembaca.

Bandar Lampung, 13 Maret 2023

Ester Novi Andriani

SANWANCANA

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Penulisan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dengan dan oleh bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, antara lain :

1. Kedua Orang Tua yang telah memberikan doa, dukungan, dan semangat kepada penulis.
2. Ibu Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing I yang selalu membimbing, memberikan semangat, kritik dan saran demi proses penyelesaian skripsi ini.
3. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku ketua jurusan, dosen pembimbing II dan dosen pembimbing akademik yang banyak memberikan masukan, saran, motivasi dan semangat dalam proses penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc. selaku dosen penguji yang telah banyak memberika kritik, saran, dan masukan yang membangun dalam proses penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
6. Seluruh dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan selama proses kuliah.
7. Selvi Hidayanti sebagai rekan tim kerja dalam proses penelitian
8. Adikku Yulivia Hana Kusmanto yang banyak membantu baik dari segi moril dan materil dan mendoakan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

9. Teman-teman seperjuanganku, Chandra Gumilang, Selvi Hidayanti, Eza Ariyani, Wayan Putri Yanti, hauzan Khoirullah M, Dendi Rosandi, Saiful Munir, yang telah banyak membantu penulis dalam proses penelitian dan penyusunan skripsi.
10. Keluarga besar Lapet yang sudah memberikan semangat, dukungan dan tempat berbagi cerita.
11. Seluruh teman-teman Jurusan Fisika Angkatan 2018 yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu dan memberikan kemudahan serta kelancaran dalam setiap aktivitas yang dikerjakan. Amin.

Bandar Lampung, 13 Maret 2023

Ester Novi Andriani

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
HALAMAN JUDUL	iv
LEMBAR PERSETUJUAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
HALAMAN PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xiii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 <i>Harvesting Energy</i>	7
2.3 Antena Mikrostrip	8
2.4 Saluran Pencatu (<i>Feedline</i>)	12
2.5 <i>Rectifier</i>	13
2.6 Wi-Fi	16

2.7 Gelombang Elektromagnetik	18
2.8 <i>Rectenna</i>	20
III. METODE PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	22
3.2 Alat dan Bahan.....	23
3.3 Prosedur Penelitian	24
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Simulasi Antena Sebelum Optimasi	31
4.2 Simulasi Antena Sesudah Optimasi	33
4.3 Realisasi Alat	39
4.4 Pengambilan Data	40
V. KESIMPULAN	
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Gambaran umum antena microstrip (Habibullah, 2018)	11
Gambar 2.2 Rangkaian penyearah setengah gelombang (Suartono, 2022).....	16
Gambar 2.3 Penyearah gelombang penuh dengan 2 dioda (Suartono dkk., 2022).	17
Gambar 2.4 Rangkaian Voltage Doubler (Rajab dkk., 2019).	18
Gambar 2.5 Spektrum gelombang elektromagnetik (Hari, 2019).	21
Gambar 3.1 Sistem pemanenan energi radio frekuensi	26
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian	27
Gambar 3.3 Desain antena microstrip patch circular	29
Gambar 3.4 Rancangan rectifier	30
Gambar 3.5 Rangkaian alat keseluruhan	31
Gambar 4. 1 VSWR sebelum optimasi.....	33
Gambar 4.2 Return Loss sebelum optimasi.....	34
Gambar 4. 3 VSWR antena dengan jari-jari 17 mm.....	35
Gambar 4.4 VSWR antena dengan jari-jari 18 mm	36
Gambar 4.5 VSWR antena dengan jari-jari 19 mm	36
Gambar 4.6 Simulasi Return Loss Antena dengan jari-jari 17 mm.....	37
Gambar 4.7 Simulasi Return Loss Antena dengan jari-jari 18 mm.....	38
Gambar 4.8 Simulasi Return Loss Antena dengan jari-jari 19 mm.....	39
Gambar 4.9 Rectenna	41
Gambar 4.10 Router WiFi ZTE F609.....	42
Gambar 4.11 Pengukuran rectenna pada pagi hari	43
Gambar 4.12 Grafik pengukuran rectenna pada pagi hari.....	44
Gambar 4.13 Pengukuran rectenna pada siang hari	45
Gambar 4.14 Grafik pengukuran rectenna pada siang hari.	46

Gambar 4.15 Pengukuran rectenna pada malam hari	47
Gambar 4.16 Grafik pengukuran rectenna pada malam hari	48
Gambar 4.17 Grafik pengukuran rectenna di rumah pada tiga kondisi waktu	50
Gambar 4.18 Grafik pengukuran rectenna di area kost pada tiga kondisi waktu	51

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Jadwal pelaksanaan penelitian	24
Tabel 3.2 Alat dan bahan.....	25
Tabel 3.3 Spesifikasi substrate yang digunakan.....	28
Tabel 3.4 Spesifikasi dimensi antena yang digunakan.....	28
Tabel 3.5 Rancangan Simulasi Antena dengan Jari-Jari Patch (a) 17 mm.....	29
Tabel 3.6 Rancangan Simulasi Antena dengan Jari-Jari Patch (a) 18 mm.....	30
Tabel 3.7 Rancangan Simulasi Antena dengan Jari-Jari Patch (a) 19 mm.....	30
Tabel 3.8 Rancangan Data Pengukuran Rectenna pada Pagi Hari	32
Tabel 3.9 Rancangan Data Pengukuran Rectenna pada Siang Hari	32
Tabel 3.10 Rancangan Data Pengukuran Rectenna pada Malam Hari.....	32
Tabel 4.1 Hasil Simulasi Antena sebelum Optimasi	40
Tabel 4.2 Hasil Simulasi Setelah Optimasi pada antena dengan jari-jari (a) 17 mm	40
Tabel 4.3 Hasil Simulasi Setelah Optimasi pada antena dengan jari-jari (a) 18 mm	40
Tabel 4.4 Hasil Simulasi Setelah Optimasi pada antena dengan jari-jari (a) 19 mm	40
Tabel 4.5 Pengambilan data pada pagi hari pukul 09.00-10.00	44
Tabel 4.6 Pengambilan data pada siang hari pukul 14.00-15.00.....	46
Tabel 4.7 Pengambilan data pada malam hari pukul 20.00-21.00	48
Tabel 4.8 Pengukuran rectenna di rumah pada tiga kondisi waktu.....	49

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi merupakan hal yang sangat penting dan dibutuhkan ketersediaannya dalam kehidupan sehari-hari. Akses energi akan memberikan kepastian untuk melakukan berbagai kegiatan yang tidak hanya bermanfaat tetapi juga bernilai ekonomis tinggi. Indonesia yang berusia lebih dari 70 tahun terus menghadapi tantangan yang kompleks dan berlarut-larut terkait aksesibilitas energi termasuk energi listrik. Pada tahun 2016, hampir 65% bahan baku yang digunakan untuk menghasilkan listrik di Indonesia berasal dari batu bara, diikuti oleh gas alam sebesar 27,05%, solar sebesar 6,16% dan bahan bakar minyak sebesar 1,96% (Tondang, 2018). Dari data tersebut, penyediaan energi listrik ternyata masih sangat bergantung pada energi fosil. Penggunaan energi fosil sebagai bahan baku untuk menghasilkan listrik harus mengalami transisi karena persediaannya yang semakin hari semakin menipis serta penggunaannya yang tidak ramah lingkungan. Pilihan selanjutnya adalah dengan energi alternatif.

Penggunaan energi alternatif saat ini sangat penting mengingat cadangan energi di alam semakin menipis. Energi alternatif ini berasal dari potensi alam lain yang dapat diperbarui, dapat diproduksi dalam waktu singkat atau sebagai hasil dari penggunaan potensi alam lain yang kemudian menghasilkan energi sekunder yang dapat digunakan kembali. Energi sekunder adalah energi yang diperoleh dari sumber energi primer. Energi sekunder juga merupakan energi primer yang telah mengalami pengolahan lebih lanjut (Hamdi, 2016). Salah satu energi yang belum banyak dikenal dan diketahui namun ada di sekitar kita adalah gelombang frekuensi radio atau yang biasa dikenal dengan gelombang RF (Suandi dkk., 2018).

Seiring dengan berkembangnya perangkat yang memancarkan radio frekuensi dan memiliki energi elektromagnetik, maka terdapat energi tersebar yang tidak seluruhnya diterima oleh perangkat *receiver* namun terbuang secara percuma di udara bersama gelombang radio yang lain. Energi tersebar tersebut dapat digunakan kembali dengan mengumpulkan dan memanfaatkannya. Oleh karena itu, dibuatlah suatu teknologi yang disebut dengan *energy harvesting* (pemanenan energi), dimana sumber energi ditangkap, dan disimpan untuk perangkat otonom nirkabel kecil, seperti yang digunakan dalam perangkat elektronik yang kemudian dikonversi langsung menjadi energi listrik. Pemanenan energi ini menyediakan daya dalam jumlah yang kecil untuk elektronik berdaya rendah. Komponen utama sistem pemanenan energi adalah antena dan *rectifier*. Antena merupakan media untuk menangkap gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh sinyal WiFi, sementara *rectifier* merupakan media untuk mengkonversi gelombang elektromagnetik menjadi tegangan DC.

Beberapa penelitian yang sama terkait pemanenan energi telah dilakukan sebelumnya. Rivaldo dkk, pada tahun 2018 meneliti mengenai perancangan dan realisasi antena pada frekuensi 800-2500 MHz menggunakan antena Vivaldi coplanar (*Toplared Slot Antenna*) dan rangkaian *rectifier Voltage Doubler 5-stage* dengan *diode BAT17*, pada penelitian ini dihasilkan daya *output* maksimum sebesar 474,2 mV pada jarak antena 30 cm. Penelitian selanjutnya oleh Suandi dkk pada tahun 2018 menggunakan antena *microstrip patch circular* yang diintegrasikan dengan perangkat *rectifier* menggunakan *diode schottky* sehingga menghasilkan suatu perangkat bernama *rectenna* dan menghasilkan tegangan DC sebesar 0,005 mV. Penelitian yang sama juga dilakukan oleh Natalia A dkk pada tahun 2018 mengenai perancangan dan realisasi antena pada frekuensi WiFi menggunakan *voltage doubler* tiga *stage* dan didapatkan kesimpulan semakin dekat jarak yang ditentukan semakin besar tegangan yang didapatkan dan semakin besar frekuensi yang ditentukan maka semakin kecil tegangan yang didapatkan. Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, tegangan yang dihasilkan masih terbilang cukup kecil sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk dapat menghasilkan daya yang lebih besar.

Pada penelitian pendahuluan ini, dilakukan perancangan antenna *mikrostrip patch circular* berbahan FR-4 Epoxy karena antenna jenis ini memiliki nilai parameter yang lebih baik dibanding dengan antenna mikrostrip *patch* bentuk lainnya. Perancangan *rectifier* dibuat dengan menggunakan rangkaian *voltage doubler* tiga stage karena memiliki nilai penguatan yang cukup besar serta rugi-rugi yang cukup kecil. Perangkat *rectenna* ini didesain untuk rentang frekuensi WiFi yaitu 2,4 GHz. Penelitian ini diharapkan mampu memanfaatkan radio frekuensi sebagai sumber energi untuk menghasilkan daya *output* yang lebih maksimal.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana desain antenna yang optimal agar dapat menangkap gelombang elektromagnetik secara maksimum?
2. Bagaimana rancangan rangkaian *rectifier* yang tepat agar mendapatkan daya *output* maksimum saat diintegrasikan dengan antenna?
3. Bagaimana proses fabrikasi *rectenna* agar dapat menangkap serta mengkonversikan gelombang radio frekuensi untuk mendapatkan daya *output* maksimum?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Membuat desain antenna yang optimal agar dapat menangkap gelombang elektromagnetik secara maksimum.
2. Membuat rangkaian *rectifier* yang tepat agar mendapatkan daya *output* maksimum saat diintegrasikan dengan antenna.
3. Merealisasikan rancangan antenna dan *rectifier* menjadi sebuah perangkat *rectenna*.

1.4. Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan yang dilakukan dalam penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Dapat memanfaatkan gelombang elektromagnetik yang terbuang di sekitar kita menjadi sebuah energi terbarukan.
2. Dapat tersedianya alat untuk menangkap dan mengkonversikan gelombang elektromagnetik yang terbuang di sekitar kita menjadi tegangan DC.
3. Dapat digunakan sebagai referensi untuk dilakukan penelitian lebih lanjut terkait pemanenan energi radio frekuensi.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Antena bekerja pada rentang frekuensi WiFi yaitu 2,4 GHz.
2. Simulasi antena menggunakan software HFSS 15.0
3. Bahan substrat yang digunakan adalah Epoxy FR-4.
4. Jenis rangkaian *rectifier* yang digunakan adalah *doubler voltage stage-3*

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Suandi, dkk (2018). Penelitian ini bertujuan dalam pemanenan gelombang radio frekuensi untuk dapat dimanfaatkan sebagai sumber catu daya pada perangkat bergerak yang berdaya rendah. Penelitian ini menggunakan antena mikrostrip *patch* lingkaran yang didesain bekerja pada frekuensi 1,8 GHz untuk menangkap gelombang elektromagnetik dan rangkaian *rectifier* sebagai pengkonversi gelombang Radio Frekuensi menjadi tegangan DC. Dalam rancang bangun antena mikrostrip *patch* lingkaran ini dilakukan simulasi kinerja antena guna memperoleh parameter ideal sesuai yang diharapkan. Selanjutnya, dilakukan pengukuran antena menggunakan alat ukur *Base Station Test*. Pengukuran yang dilakukan meliputi, VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*), *Return Loss*, *gain* dan pola radiasi. Pada penelitian diperoleh hasil simulasi VSWR yang paling baik pada frekuensi 1,82 GHz sebesar 1,4, sedangkan hasil pengukuran antena pada frekuensi 1.800 MHz adalah sebesar 1,5. Nilai *Return Loss* yang diperoleh pada frekuensi 1,8 GHz dari hasil simulasi sebesar -13 dB dan pengukuran *gain* antena pada frekuensi 1,8 GHz diperoleh sebesar 11,94 dB. Pengukuran *rectenna* pada penelitian ini dilakukan sebanyak tiga kali dengan selang waktu yang berbeda-beda. Berdasarkan hasil pengukuran, pada percobaan pertama diperoleh tegangan tertinggi terjadi pada menit ke-10 yaitu sebesar 9,7 μV dan tegangan terendah terjadi pada menit ke-1 dengan nilai tegangan sebesar 4,2 μV . Pada percobaan kedua, tegangan tertinggi terjadi pada menit ke-10 dengan hasil sebesar 9,5 μV dan tegangan terendah terjadi pada menit ke-1 sebesar 4 μV . Pada percobaan ketiga, tegangan tertinggi terjadi pada menit ke-10 dengan nilai tegangan sebesar 9,6 μV dan tegangan terendah terjadi pada menit ke-1 sebesar 4 μV . Pada

hasil penelitian ini, perangkat *rectenna* sudah dapat memanen energi radio frekuensi walaupun dengan daya yang masih sangat rendah yaitu $9 \mu\text{V}$. Percobaan ketiga, tegangan tertinggi terjadi pada menit ke-10 dengan nilai tegangan sebesar $9,6 \mu\text{V}$ dan tegangan terendah terjadi pada menit ke-1 sebesar $4 \mu\text{V}$. Pada hasil penelitian ini, perangkat *rectenna* sudah dapat memanen energi radio frekuensi walaupun dengan daya yang masih sangat rendah yaitu $9 \mu\text{V}$.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Natalia A, dkk (2018). Penelitian ini membahas mengenai perancangan dan pembuatan *rectenna* sebagai pengubah daya elektromagnetik menjadi *output* DC yang bekerja pada frekuensi WiFi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan merealisasikan sebuah *rectenna* yang dapat bekerja pada frekuensi WiFi. Penelitian ini menggunakan antena *microstrip rectangular patch array 1x2* dan rangkaian *rectifier voltage doubler 3 stage*. Perancangan dan simulasi antena dilakukan dengan menggunakan *software* CST 13.0 sedangkan perancangan dan simulasi *rectifier* menggunakan *software* NI Multism.

Hasil yang diperoleh pada pengujian parameter antena berupa nilai VSWR pada frekuensi 2,492 GHz sebesar 1,453 selanjutnya nilai *gain* pada frekuensi 2,4 GHz diperoleh sebesar 3,32 dB. Dalam penelitian ini, diukur tegangan *output rectenna* pada dua jarak berbeda yaitu 50 cm dan 100 cm. Berdasarkan hasil pengukuran, *rectenna* dengan jarak 50 cm menghasilkan *output* DC yang lebih besar dibandingkan dengan jarak 100 cm. Pada penelitian ini diperoleh efisiensi *rectenna* maksimal 6,34 % pada frekuensi 2,4 GHz, 0,43% pada frekuensi 2,44 GHz dan 0,37% pada frekuensi 2,48 GHz.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Contreras, dkk (2020). Penelitian ini membahas mengenai desain *rectenna* dalam pemanenan energi elektromagnetik dari WiFi pada frekuensi 2.45 GHz menggunakan teknik tuning yang diterapkan pada dimensi elemen *rectenna* untuk meningkatkan kinerjanya. Pada penelitian ini, *antena rectangular* digunakan untuk menerima energi elektromagnetik. *Low Pass Filter* (LPF) digunakan untuk menghilangkan gelombang harmonik yang

dihasilkan oleh *rectifier* dan meningkatkan *matching impedance* dengan antenna. *Rectifier* berfungsi mengubah energi elektromagnetik yang diterima menjadi energi listrik. Selain itu, konverter boost AC-DC juga disertakan untuk meningkatkan level tegangan ke nilai fungsional pada perangkat elektronik. Untuk *rectifier*, penggunaan *single diode* dan *voltage doubler* dievaluasi, untuk memperoleh efisiensi konversi RF ke DC maksimum.

Hasil yang diperoleh pada penelitian ini adalah pada desain antenna diperoleh hasil simulasi, rasio gelombang berdiri (VSWR), impedansi dan penguatan pada 0° adalah -9,98 dB pada frekuensi 2.45GHz. Frekuensi resonansi (f_r), yang menyajikan magnitudo S11 terendah, yaitu 2,486 GHz. Pada desain *rectifier* dengan membandingkan *single diode* dan *voltage doubler* diperoleh nilai efisiensi konversi RF ke DC maksimum sebesar 31,93% untuk *single diode* dan 45,66% untuk *voltage doubler*. Tegangan *input* minimum konverter *boost* DC-DC membatasi jarak maksimum antara *rectenna* dan sumber RF hingga pada jarak 42 cm untuk *single diode* dan 80 cm untuk *voltage doubler*. Pengukuran kinerja *rectenna* dengan membandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Perbandingan tersebut dilakukan di fungsi besaran antenna S11 yang disimulasikan dan simulasi efisiensi *rectenna* untuk setiap jenis *rectifier*, yang menunjukkan bahwa *rectenna* yang dirancang dengan *single diode* memiliki nilai kinerja yang lebih rendah dari *voltage doubler*. *Rectenna* ini dapat digunakan untuk memberi daya perangkat dengan *input* tegangan 3,3 V, seperti jam tangan, node sensor nirkabel dan aktuator.

2.2. Harvesting Energy

Harvesting Energy atau bisa disebut juga dengan *power harvesting* atau *energy scavenging* merupakan proses pengambilan dan pemanfaatan energi yang berasal dari sumber eksternal seperti energi panas, energi kinetik, tenaga surya, tenaga angin, sinyal radio frekuensi, dan lain-lain dimana sumber eksternal tersebut dapat disimpan atau digunakan pada alat-alat elektronik (Rahajoeningroem & Vilandika, 2017). Berdasarkan sumber energi *ambient*, Radio Frekuensi dengan kerapatan daya kurang lebih sebesar $0,0002 \mu\text{W}/\text{cm}^3$ sampai $1 \mu\text{W}/\text{cm}^3$, maka energi yang dapat dipanen adalah sebesar 3 Volt sampai 4 Volt secara kontinyu. Energi *ambient*

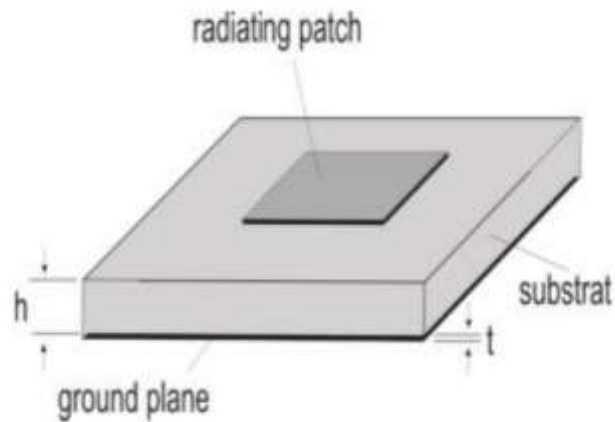
RF dengan jumlah yang lebih besar dapat diperoleh dengan menggunakan antena yang memiliki *gain* tinggi. Teknologi ini berguna dalam pengisian baterai atau pensuplaian daya perangkat elektronik nirkabel dimana penggantian baterai sulit dilakukan dalam penggunaan jaringan nirkabel (Diana dkk, 2017). *RF energy* saat ini dipancarkan oleh *radio transmitters*, termasuk telepon genggam, BTS, televisi/*radio broadcast stations*. Kemampuan untuk memanen energi dari energi yang di sekitar atau suatu sumber memungkinkan pengisian energi nirkabel dari perangkat dengan daya rendah. Seiring berkembangnya teknologi, frekuensi dapat ditangkap dan diubah menjadi energi baru berupa listrik/tegangan DC (Suandi dkk, 2018).

Perkembangan *harvesting energy* dan kemajuan di bidang elektronika, yang selanjutnya mengembangkan perangkat dengan kebutuhan daya rendah, akan mendorong penelitian dan pengembangan penggunaan sinyal Radio Frekuensi sebagai sumber energi nirkabel yang baik. Sejauh ini pengembangan *RF Harvesting Energy* hanya mampu menghasilkan daya yang relatif rendah (umumnya hanya pada kisaran milliWatt), tergantung dari teknologi yang digunakan. Rapat daya sinyal gelombang radio frekuensi yang ada dan tersedia di udara bebas dapat dipanen dengan menggunakan sistem *rectenna broadband* maupun *narrowband* menjadi daya masih sangat kecil bila digunakan pada sumber catuan perangkat bergerak (Rizal dkk, 2018).

2.3. Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan salah satu antena gelombang mikro yang digunakan sebagai radiator pada sejumlah sistem telekomunikasi modern sekarang ini. Ada beberapa macam konfigurasi antena *array*, diantaranya *linier*, *planar*, dan *circular*. Masing-masing konfigurasi memiliki keuntungan, misalnya *linier array* memiliki kelebihan dalam perhitungan yang tidak terlalu rumit, sedangkan *planar array* memiliki kelebihan dalam pengaturan dan pengendalian arah pola radiasi (Saputra dkk, 2019). Antena mikrostrip merupakan antena berbentuk papan tipis dan mampu bekerja pada frekuensi yang sangat tinggi, terdiri dari *radiating patch*, Substrat

dielektrik, dan *groundplane*. Bagian dari antenna mikrostrip dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.1 Gambaran umum antenna mikrostrip (Habibullah, 2018)

Teknologi antenna mikrostrip ini sampai sekarang masih merupakan salah satu topik yang menarik di dalam berbagai aplikasi gelombang mikro, baik di bidang akademis, industri, maupun penelitian. Hal ini disebabkan karena antenna mikrostrip tersebut mempunyai bentuk yang sederhana, efisien, ekonomis, dan mudah pembuatannya. Namun demikian antenna mikrostrip ini juga mempunyai kelemahan yang sangat mendasar, yaitu : *bandwidth* yang sempit, keterbatasan gain, dan daya yang rendah (Habibullah, 2018).

2.3.1 Parameter Antena *Microstrip*

Kinerja dan daya guna suatu antenna dapat dilihat dari nilai parameter-parameter antenna tersebut. Beberapa dari parameter tersebut saling berhubungan satu sama lain. Parameter-parameter antenna yang biasanya digunakan untuk menganalisis suatu antenna adalah impedansi masukan, *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), *Return Loss*, *Bandwidth*, dan Penguatan (*Gain*).

1) VSWR (*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 (Habibullah, 2018).

2) *Return Loss*

Return Loss adalah perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. *Return Loss* digambarkan sebagai peningkatan amplitudo dari gelombang yang direfleksikan disbanding dengan gelombang yang dikirim. *Return Loss* dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas diantara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena). Pada rangkaian gelombang mikro yang memiliki diskontinuitas (*mismatched*), besar *Return Loss* bervariasi tergantung pada frekuensi.

3) *Bandwidth*

Bandwidth atau lebar pita frekuensi suatu antenna didefinisikan sebagai besar rentang frekuensi kerja dari suatu antenna, dimana kinerja antenna yang berhubungan dengan beberapa karakteristik (seperti impedansi masukan, VSWR, *Return Loss*, *Axial Ratio*) memenuhi spesifikasi standar. Nilai *Bandwidth* dapat diketahui apabila nilai frekuensi bawah dan frekuensi atas antenna sudah diketahui.

4) *Gain*

Dalam prakteknya total daya *input* ke antenna dapat diperoleh dengan mudah, tapi total radiasi daya pada antenna sebenarnya sulit untuk didapatkan. *Gain* antenna didefinisikan sebagai rasio intensitas radiasi dalam arah tertentu dari antenna dengan total daya *input* diterima oleh antenna dibagi dengan 4π . Ada 2 jenis parameter *gain*, yaitu *absolute gain* dan *relative gain*. *Absolute gain* pada sebuah antenna didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas pada arah tertentu dengan intensitas radiasi yang diperoleh jika daya yang diterima oleh antenna teradiasi secara isotropik. Intensitas radiasi yang berhubungan dengan daya yang diradiasikan secara isotropik sama dengan daya yang diterima oleh antenna (P_{in}) dibagi dengan 4π .

2.3.2 *Antena Microstrip Patch Circular*

Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antenna yang berbentuk papan tipis dan mampu bekerja pada frekuensi yang sangat tinggi. Antena mikrostrip dibuat dengan menggunakan sebuah substrat yang mempunyai tiga buah elemen dasar yaitu peradiasi (*radiator*), elemen substrat (*substrate*), dan elemen pentanahan (*groundplane*). Antena mikrostrip dengan *patch* lingkaran ini memiliki performa yang sama dengan antenna mikrostrip segiempat. Dengan teknik pengaplikasian yang

digunakan misalnya teknik *array*, *patch circular* akan menghasilkan keuntungan dibandingkan dengan *patch* lainnya. Selain itu, antena ini lebih mudah untuk dimodifikasi agar menghasilkan jarak nilai impedansi, pola radiasi dan frekuensi kerja (Budi dkk, 2017).

Antena microstrip patch circular dibuat dengan menggunakan sebuah substrat yang mempunyai tiga buah elemen dasar yaitu peradiasi (*radiator*), elemen substart (*substrate*), dan elemen pentahanan (*groundplane*). Dalam menentukan dimensi elemen radiasi, maka harus terlebih dahulu menentukan besarnya panjang gelombang di ruang bebas (λ_0) berdasarkan frekuensi acuan yang akan diradiasikan (f) dan kecepatan cahaya di ruang bebas (c), dengan persamaan (3.1) :

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad (3.1)$$

Selanjutnya untuk membuat *antena microstrip patch circular*, maka radius ditentukan oleh persamaan (3.2).

$$a = \frac{F}{\left\{1 + \left(\frac{2h}{\pi\epsilon_r F}\right) \left[\ln\left(\frac{\pi F}{2h}\right) + 1,7726\right]\right\}^{1/2}} \quad (3.2)$$

Dimana a merupakan dimensi radius *circular* (mm), h menyatakan ketebalan substrat (mm), F menyatakan fungsi logaritmik elemen peradiasi, dan ϵ_r merupakan konstanta dielektrik substrat (F/m). Untuk menentukan fungsi logaritmik dari elemen peradiasi, ditentukan dengan persamaan (3.3).

$$F = \frac{8,791 \times 10^9}{f\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.3)$$

dengan f menyatakan frekuensi kerja antena (GHz) dan ϵ_r menyatakan konstanta dielektrik substrat (F/m). Pada prinsipnya, antena mikrostrip memiliki kesamaan dengan saluran *microstrip*. Dengan memperhatikan adanya kesamaan sifat yang dimiliki sebagai komponen pasif, maka dalam menentukan impedansi karakteristik antena dapat dilakukan dengan menggunakan analisis saluran transmisi dalam bentuk mikrostrip. Tujuan penentuan impedansi karakteristik antena adalah untuk menentuka lebar saluran atau elemen peradiasinya.

Secara matematik besarnya nilai impedansi karakteristik untuk saluran atau antena mikrostrip dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.4).

$$Z_0 = \frac{377h}{\sqrt{\epsilon_r}W} \quad (3.4)$$

dengan Z_0 menyatakan impedansi karakteristik (Ω), ϵ_r menyatakan permitivitas dielektrik relatif substrat (F/m), W menyatakan lebar elemen radiasi (mm) dan h tinggi bahan substrat (mm).

Elemen selanjutnya yang diperlukan dalam merancang sebuah antena adalah elemen substrat (*substrate*) dan elemen pentahanan (*groundplane*). Kedua elemen ini memiliki ukuran yang sama yang dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (3.5) dan (3.6)

$$L_s = 6h + 2a \quad (3.5)$$

$$W_s = \pi a \quad (3.6)$$

dimana L_s merupakan panjang substrat dan *ground* (mm) sementara W_s merupakan lebar substrat dan *ground* (Suandi, 2018).

2.4. Saluran Pencatu (*Feedline*)

Pada dasarnya saluran pencatu untuk antena mikrostrip dapat dibagi menjadi 2, yaitu pencatuan secara langsung atau *direct coupling* dan pencatuan secara tidak langsung atau *electromagnetic coupling*. *Direct feed* sangat sederhana dalam teknologi *feed*-nya, dimana *patch* antena dan konektor langsung dihubungkan dengan menyolder bidang *ground*. Dalam teknik pencatuan tidak langsung tidak ada kontak langsung antara saluran transmisi dan elemen radiasi (Surjati dkk, 2017).

Microstrip Line dan *Coaxial Probe* termasuk dalam *Direct feed* (metode kontak langsung) dan *Aperture Coupling* dan *Proximity Coupling* termasuk dalam *electromagnetic coupling* (metode kontak tidak langsung). Pada penelitian ini, antena yang dirancang menggunakan Teknik pencatuan *microstrip line*. Teknik pencatuan *microstrip line* adalah suatu teknik untuk mentransmisikan energi elektromagnetik ke dalam antena mikrostrip. Teknik pencatuan *microstrip line* saat ini populer dengan karena lebih mudah untuk dirancang dan diproduksi karena saluran umpan dan elemen radiasi dicetak pada substrat yang sama. Pada teknik *microstrip feed line* ini, antena *patch* dihubungkan ke *feed line* agar sesuai dengan antena. *Patch* dan *feed line* harus menggunakan bahan yang sama dengan cara

disesuaikan (Andriyani dkk., 2020). Selanjutnya untuk menentukan ukuran *feedline* pada antenna *microstrip* dapat dihitung menggunakan persamaan (3.7).

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.7)$$

dimana B merupakan besar impedansi pada saluran, Z_0 menyatakan impedansi karakteristik (Ω), dan ϵ_r menyatakan permitivitas dielektrik relatif substrat (F/m). Nilai B selanjutnya digunakan untuk menentukan lebar *feedline* yang dapat dihitung dengan persamaan (3.6)

$$W = \frac{2h}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right\} \right] \quad (3.8)$$

W merupakan lebar *feedline* (mm). Selanjutnya, panjang *feedline* dapat ditentukan dengan mencari panjang gelombang saluran transmisi terlebih dahulu.

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.9)$$

$$L = \frac{1}{4} \lambda_d \quad (3.10)$$

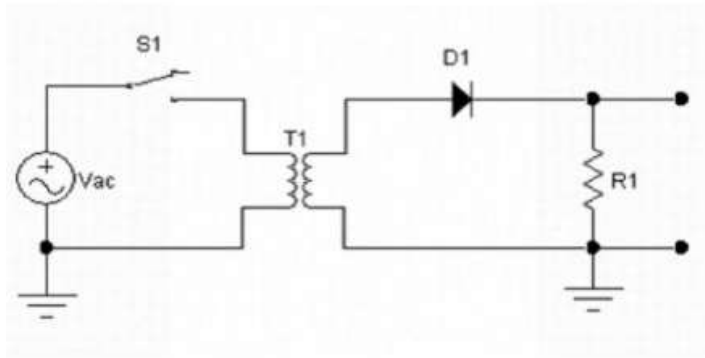
dimana λ_d merupakan panjang gelombang saluran transmisi (mm) dan L merupakan panjang *feedline* (mm) (Suandi, 2018).

2.5. Rectifier

Rectifier atau penyearah gelombang adalah bagian dari catu daya yang membantu mengubah atau mengubah sinyal tegangan AC (arus bolak-balik) menjadi tegangan searah DC (arus searah). Komponen kunci dari penyearah gelombang adalah dioda dalam konfigurasi *forward bias* atau bias maju. Pada sistem pemanen energi ini, penyearah merupakan rangkaian utama dan berperan penting dalam memproses sinyal frekuensi radio yang diterima oleh antenna. Penyearah bertindak sebagai yang mengubah sinyal frekuensi tinggi yang dikirim oleh dari pemancar, diambil oleh antenna dan diubah menjadi tegangan DC. Dalam Sistem Pemanenan Energi Radio Frekuensi, komponen utama yang digunakan dalam rangkaian penyearah dalam penelitian ini adalah dioda. Disini dioda bertindak sebagai penyearah, mengubah sinyal AC yang diterima oleh antenna dari pemancar frekuensi radio menjadi tegangan DC (Rajab dkk., 2019). Ada dua jenis penyearah menggunakan *diode* yaitu *half wave rectifier* dan *full wafe rectifier*.

2.5.1 Half Wave Rectifier

Prinsip penyearah (*rectifier*) yang paling sederhana ditunjukkan pada **Gambar 2.2**. Transformator (T1) diperlukan untuk menurunkan tegangan AC dari jala-jala listrik pada kumparan primernya menjadi tegangan AC yang lebih kecil dari kumparan sekundernya.

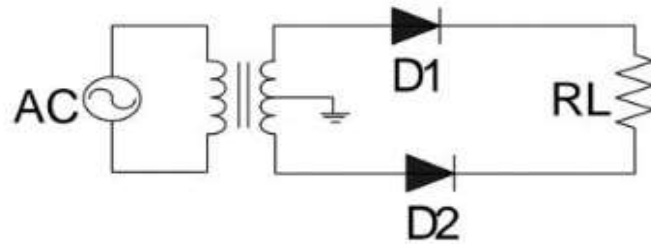


Gambar 2.2 Rangkaian penyearah setengah gelombang (Suartono, 2022).

Pada rangkaian tersebut, *diode* (D1) berperan hanya untuk merubah dari arus AC menjadi DC dan meneruskan tegangan positif ke beban R1. Ini yang disebut dengan penyearah setengah gelombang (*half wave*). Gambar 2.2 menunjukkan sumber AC menghasilkan sebuah tegangan Sinusoidal, bila dioda diasumsikan sebuah dioda ideal. Pada siklus positif atau putaran setengah positif, dioda akan menjadi sebuah dioda dengan bias maju, artinya dioda dapat berlaku sebagai sebuah saklar tertutup. Gelombang masukan pada rangkaian penyearah setengah gelombang berupa gelombang sinus dengan nilai seketika V_{in} dengan sebuah nilai puncak $V_p(in)$.

2.5.2 Full Wave Rectifier

Rectifier gelombang penuh adalah equivalen dengan dua kali *rectifier* setengah gelombang, karena *center tap* masing-masing *rectifier* mempunyai tegangan masukan yang equal dengan setengah tegangan sekunder. Rangkaian dasar penyearah gelombang penuh seperti terlihat pada **Gambar 2.5** menggunakan dua dioda dan satu *center tape transformer*.

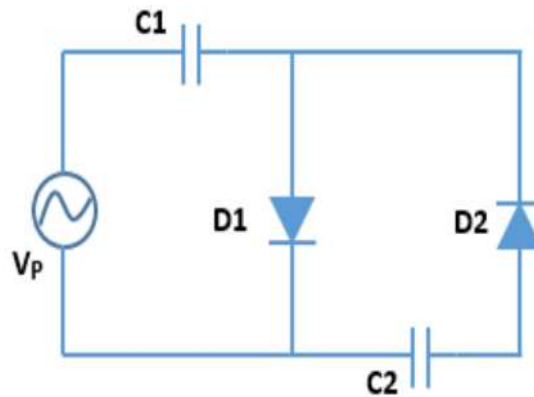


Gambar 2.3 Penyearah gelombang penuh dengan 2 dioda (Suartono dkk., 2022).

D1 menghantar ke putaran setengah positif dan dioda D2 menghantar ke putaran setengah negatif. Sebagai hasilnya arus beban *rectifier* mengalir selama setengah putaran bersama-sama. Rangkaian ekuivalen pada putaran maju setengah siklus positif, D1 merupakan dioda dengan bias maju yang akan menghasilkan sebuah tegangan beban positif yang diindikasikan sebagai *Polarity Plus-Minus* melalui resistor beban. Rangkaian ekuivalen pada putaran maju setengah siklus negatif, D2 merupakan dioda dengan bias maju yang akan menghasilkan sebuah tegangan beban positif. Selama kedua putaran setengah, tegangan mempunyai polaritas yang sama dan arus beban berada dalam dalam satu arah, rangkaian ini disebut sebagai *rectifier* gelombang penuh, karena mengganti tegangan masukan AC ke pulsatin (getaran) tegangan keluaran DC (Suartono dkk., 2022).

2.5.3 Rangkaian *Voltage Doubler*

Rangkaian *Voltage Doubler* adalah sirkuit elektronik di mana dengan input sinyal AC dapat menghasilkan tegangan *output* DC yang dua kali lipat dari tegangan puncak *input* dikurangi tegangan *threshold* dioda pada rangkaian. Rangkaian pengganda tegangan berfungsi sebagai penyearah untuk mengubah sinyal AC menjadi tegangan DC dan bertindak sebagai penguat untuk menaikkan nilai tegangan keluaran DC (Rivaldo dkk., 2018). *Voltage doubler* merupakan salah satu dari berbagai jenis *Voltage multiplier*. Hampir sebagian besar dari rangkaian *Voltage doubler* dapat dilihat sebagai *single stage* dari *Multiplier*.



Gambar 2.4 Rangkaian *Voltage Doubler* (Rajab dkk., 2019).

Rangkaian *rectifier* bekerja saat gelombang AC memulai setengah siklus positif pertama berupa gelombang sinusoidal $V_{in} = A \sin(\omega t)$. Jika besar tegangan puncak *input* lebih besar dari tegangan *threshold dioda* (V_{th}), maka rangkaian mengalirkan arus melewati dioda D1 dalam fase ini diode D1 dalam keadaan *forward bias* atau menjadi rangkaian terbuka, sehingga kapasitor C1 akan menyimpan muatan, yang berarti tegangan pada $V_{C1} = A - V_{th}$, dan D2 menjadi rangkaian terbuka karena dalam keadaan *reverse bias*. Saat gelombang sinusoidal mengalami siklus negatif arus mengalir dari sumber tegangan melalui kapasitor C2 dan dioda D1 menjadi *reverse bias* atau rangkaian terbuka sehingga arus tidak melewatinya sedangkan D2 yang dapat mengalirkan arus, maka *output* pada kapasitor C2 akan terisi muatan sebesar tegangan *input* ditambah tegangan yang tersimpan pada C1. Dari proses tersebut dapat disimpulkan tegangan *output* C2 lebih besar dua kali tegangan puncak *input* dikurangi tegangan *threshold diode*. *Output* rangkaian *Voltage doubler* pada dasarnya adalah sinyal AC dengan offset DC atau keluarannya merupakan sinyal DC yang mengandung *noise* (Rajab dkk., 2019).

2.6. WiFi

Wireless LAN (Local Area Network) atau disingkat WLAN adalah suatu sistem jaringan terintegrasi dalam suatu daerah atau lokasi dan memberikan kemudahan bagi para penggunanya untuk saling berkomunikasi melalui komputer. Kebutuhan terhadap LAN tersebut begitu pesat dan meliputi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). WLAN memberikan kemudahan dalam hal mobilitas user dan biaya lebih murah dalam membangun dan merubah infrastruktur fisik

LAN. User juga dapat berpindah posisi tanpa khawatir kehilangan koneksi dengan WLAN selama masih dalam cakupan area layanan. WiFi merupakan sekumpulan standar yang digunakan untuk jaringan lokal nirkabel (WLAN) yang didasari pada spesifikasi IEEE 802.11. Fungsinya menghubungkan jaringan dalam satu area lokal secara nirkabel. Awalnya WiFi digunakan untuk penggunaan perangkat nirkabel dan jaringan area lokal (LAN), namun saat ini lebih banyak digunakan untuk mengakses internet. Hal ini memungkinkan seseorang dengan komputer dengan kartu nirkabel (*wireless card*) atau *personal digital assistant* (PDA) untuk terhubung dengan internet yang menggunakan titik akses (*hotspot*) terdekat (Rante & Patras, 2018).

Wireless Local Area Network (Wireless LAN) merupakan versi lain dari LAN, di mana jaringan komputer ini menggunakan frekuensi radio untuk jalur transmisi data. *Wireless Fidelity* atau WiFi merupakan standar IEEE untuk 802.11x, dengan x adalah spesifikasi dari WiFi. Jaringan WLAN pada umumnya menggunakan standar keluarga 802.11. WiFi berjalan pada frekuensi 2.4 GHz hingga 5 GHz, dengan jenis spesifikasi yaitu sebagai berikut :

- 802.11a, transmisinya pada frekuensi 5 GHz dengan menggunakan OFDM. Kecepatan datanya adalah 54 megabit per detik
- 802.11b, transmisinya pada frekuensi 2.4 GHz, merupakan standar yang paling lambat pada perangkat wireless LAN. Kecepatan transmisi datanya adalah 11 megabit per detik.
- 802.11g, transmisinya pada frekuensi 2.4 GHz, dapat melakukan transmisi data sebesar 54 megabit per detik.
- 802.11n, transmisinya pada 2.4 GHz, merupakan standar paling cepat dengan kecepatan transmisi data maksimum 150 megabit per detik (Rohman dkk, 2018).

2.7. Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang terbentuk oleh karena adanya rambatan medan listrik dan medan magnetik. Melalui persamaan Maxwell, dapat ditunjukkan bahwa dinamika dari medan listrik dan medan magnet memenuhi persamaan gelombang, sehingga perambatan kedua medan adalah manifestasi dari suatu gelombang yang disebut gelombang elektromagnetik (Juwono dan Nuriyah, 2017).

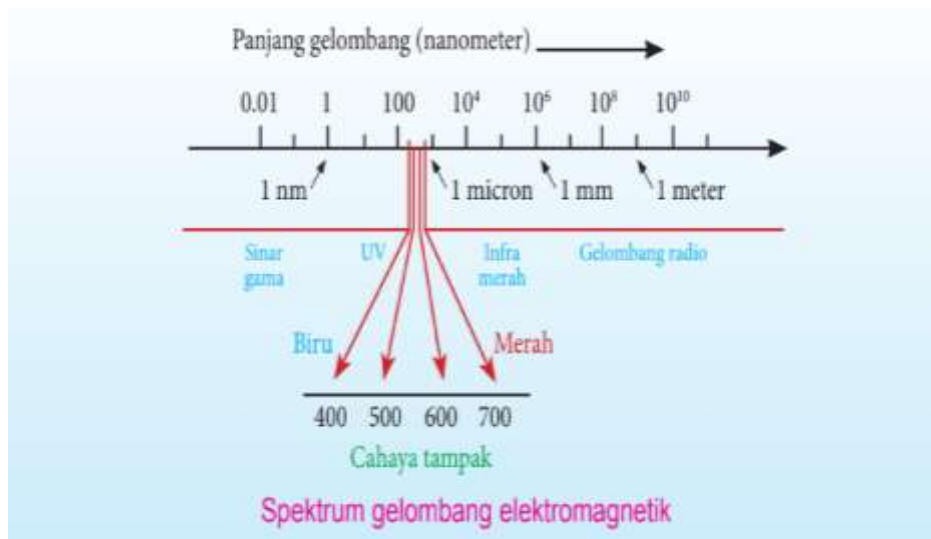
2.5.1. Ciri-ciri Gelombang Elektromagnetik

1. Karena perubahan medan listrik dan medan magnet terjadi secara bersamaan, kedua medan listrik memiliki maksimum dan minimum di tempat yang sama pada waktu yang sama.
2. Arah medan listrik dan medan magnet saling tegak lurus dan tegak lurus terhadap arah rambat gelombang.
3. Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang transversal.
4. Seperti gelombang pada umumnya, gelombang elektromagnetik juga mengalami pemantulan, pembiasan, interferensi, dan difraksi. Serta mengalami peristiwa polarisasi karena merupakan gelombang transversal.
5. Kecepatan gelombang elektromagnetik hanya bergantung pada sifat listrik dan magnet dari media di mana ia merambat. Cahaya tampak bukan satu-satunya jenis radiasi elektromagnetik yang mungkin.

Pendapat James Clerk Maxwell menunjukkan bahwa mungkin ada gelombang elektromagnetik lain yang berbeda dari cahaya tampak yang kita lihat karena memiliki panjang gelombang dan frekuensi. Kesimpulan teoretis ini secara mengejutkan diperkuat oleh Heinrich Hertz, yang mampu menghasilkan dan menghadapi dua gelombang tampak yang diprediksi oleh Maxwell. Beberapa tahun kemudian, Guglielmo Marconi mendemonstrasikan bahwa gelombang tak kasat mata dapat digunakan untuk komunikasi nirkabel dan menjadi radio. Sekarang juga digunakan untuk televisi. Sinar-X, sinar gamma, sinar infra merah, Sinar ultraviolet adalah contoh gelombang elektromagnetik. Semuanya dapat dipelajari melalui hasil pemikiran Maxwell (Sandi, 2016).

2.5.2 Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik yang dirumuskan oleh Maxwell ternyata mencakup rentang frekuensi yang luas. Sebagai fenomena gelombang, gelombang elektromagnetik dapat diidentifikasi berdasarkan frekuensi dan panjang gelombangnya. Cahaya, seperti gelombang radio dan sinar-X, adalah gelombang elektromagnetik. Masing-masing memiliki kegunaan yang berbeda, tetapi gelombang-gelombang tersebut melakukan fenomena yang serupa secara fisik.



Gambar 2.5 Spektrum gelombang elektromagnetik (Hari, 2019).

Gelombang radio adalah gelombang dengan frekuensi terendah atau panjang gelombang terpanjang. Gelombang radio ada dalam rentang frekuensi yang luas dari beberapa Hz hingga gigahertz. Gelombang ini dihasilkan oleh suatu alat elektronika berupa rangkaian osilasi (komponen resistif (R), induktor (L), variasi dan kombinasi kapasitor (C)). Oleh karena itu, gelombang radio banyak digunakan dalam sistem komunikasi. Jaringan televisi, radio, dan telepon seluler menggunakan gelombang radio dalam kisaran ini. Suatu sistem telekomunikasi yang menggunakan gelombang radio sebagai pembawa sinyal informasinya pada dasarnya terdiri atas antenna pemancar dan antenna penerima. Sebelum dirambatkan sebagai gelombang radio, sinyal informasi dalam berbagai bentuknya (suara pada sistem radio, suara dan data pada sistem seluler, atau suara dan gambar pada sistem TV) terlebih dahulu dimodulasi. Modulasi disini secara sederhana dinyatakan sebagai penggabungan antara getaran listrik informasi (misalnya suara pada sistem radio) dengan gelombang pembawa

frekuensi radio tersebut. Penggabungan ini menghasilkan gelombang radio termodulasi. Gelombang inilah yang dirambatkan melalui ruang dari pemancar menuju penerima (Hari, 2019).

2.8. *Rectenna*

Untuk memperoleh besaran energi listrik dari gelombang elektromagnetik diperlukan sebuah antena untuk menangkap gelombang elektromagnetik yang merambat bebas di alam. Gelombang elektromagnetik yang berupa arus bolak balik (AC) memerlukan sebuah penyearah (*rectifier*) untuk mengubah besaran gelombang elektromagnetik menjadi besaran listrik. Integrasi antara antena yang menangkap gelombang elektromagnetik dengan *rectifier* yang menyearahkan arus AC menjadi arus DC disebut antena dan penyearah yang lebih umum dikenal dengan singkatan *rectenna* (*rectifier antenna*) yaitu perangkat yang dapat menangkap gelombang elektromagnetik pada *range* Frekuensi Radio (RF) yang selama ini hanya sebagai media untuk melakukan komunikasi, dapat dimanfaatkan pula untuk memproduksi energi listrik (Buwarda & Azis, 2021)

Rectenna merupakan antena yang diintegrasikan dengan *rectifier*, secara sederhana *rectenna* bisa dikatakan adalah perangkat yang memiliki kemampuan untuk mengkonversi gelombang RF menjadi tegangan DC. Antena berfungsi menangkap gelombang elektromagnetik dari ruang bebas yang banyak dipancarkan perangkat-perangkat telekomunikasi yang berada disekitar kita seperti yang dipancarkan oleh BTS, *Access Point*, dan lain-lain, sedangkan *rectifier* digunakan untuk mengkonversi gelombang elektromagnetik tersebut menjadi tegangan DC (Suandi dkk, 2018). Dalam realisasi sistem *rectenna*, rangkaian *rectifier* yang berfungsi untuk mengkonversi daya RF menjadi tegangan DC menjadi bagian yang sangat penting. Selain untuk mengkonversi atau menyearahkan daya sinyal RF menjadi tegangan DC, *rectifier* juga berfungsi untuk melipat gandakan tegangan *input*, maka dari itu pemilihan metode jenis rangkaian *rectifier* sangat diperhatikan. Salah satu metode jenis *rectifier* adalah *voltage multiplier* yang mampu bekerja

efektif dan efisien pada rangkaian dengan *input* bertegangan rendah namun menghasilkan tegangan keluaran berlipat ganda (Rizal dkk., 2018).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan April sampai dengan September 2022. Kegiatan penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu perancangan dan simulasi alat, pembuatan dan pengujian alat, pengambilan data, dan analisis hasil.

Tabel 3.1 Jadwal pelaksanaan penelitian

No	Program Kerja	Bulan					
		Apr	Mei	Jun	Juli	Agust	Sept
1	Perancangan dan Simulasi Alat	■	■				
2	Pembuatan Alat		■	■			
3	Pengujian Alat			■	■		
4	Pengambilan Data			■	■		
5	Analisis Hasil				■	■	
6	Pembuatan Laporan Akhir			■	■	■	■

Tahap perancangan dan pembuatan alat dilaksanakan di Laboratorium Elektronika Dasar Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Selanjutnya, pengujian, pengukuran alat dan pengambilan data dilakukan di Kost Puri Agung Jalan Bumi Manti, Kampung Baru.

3.2. Alat dan Bahan

Alat dan Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

Tabel 3.2 Alat dan bahan

No	Nama Alat dan Bahan	Jumlah	Fungsi
1	Laptop dan Software Ansoft HFSS 15.0	1	Untuk mendesain antena dan melakukan simulasi kinerja antena
2	PCB Double Side	2	Sebagai bahan pembuat antena dan rangkaian <i>rectifier</i>
3	FeCl ₃	1	Untuk melarutkan lapisan tembaga yang tidak digunakan
4	Dioda BAT17	6	Sebagai penyearah gelombang
5	Kapasitor Elco MKM 1 nF	6	Untuk menyimpan muatan sebesar tegangan yang diberikan pada <i>input</i>
6	Kapasitor Elco MKM 220 nF	1	Untuk mengurangi <i>ripple</i> yang muncul pada tegangan <i>output</i> .
7	Cutter	1	Memotong PCB sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan
8	Solder dan Timah	1	Untuk menyolder dan menghubungkan antena dengan <i>rectifier</i> melalui konektor SMA
9	Konektor SMA	3	Sebagai penghubung antara antena dan <i>rectifier</i>
10	Multimeter Digital	1	Untuk mengukur tegangan <i>output rectenna</i>
11	Jumper	2	Untuk menghubungkan rangkaian

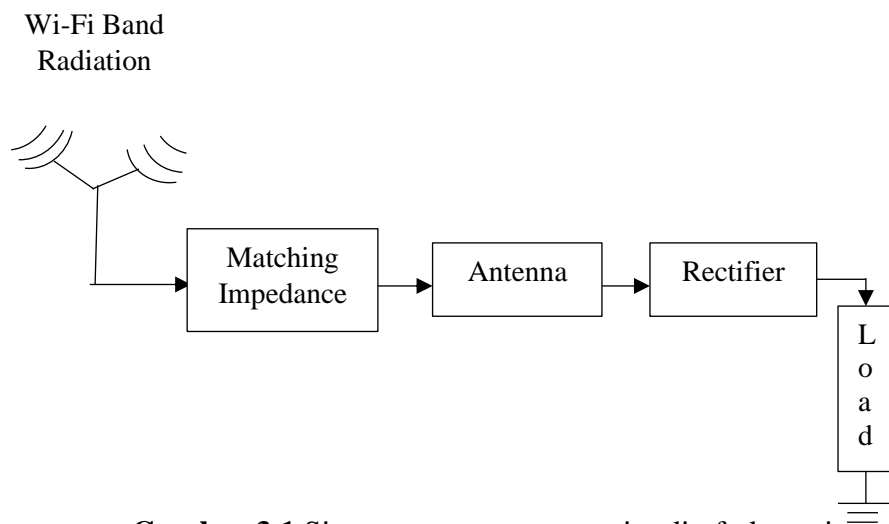
3.3. Prosedur Penelitian

Dalam prosedur penelitian ini, dilakukan beberapa tahapan antara lain studi literature, perancangan dan simulasi alat, serta langkah penelitian.

3.3.1 Studi Literatur

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan studi pustaka dari berbagai sumber-sumber literatur seperti jurnal, buku, artikel ilmiah, dan lainnya untuk mengumpulkan data dan informasi yang relevan terkait topik dan mendukung peneliti mengemukakan permasalahan yang akhirnya diangkat dalam penelitian ini.

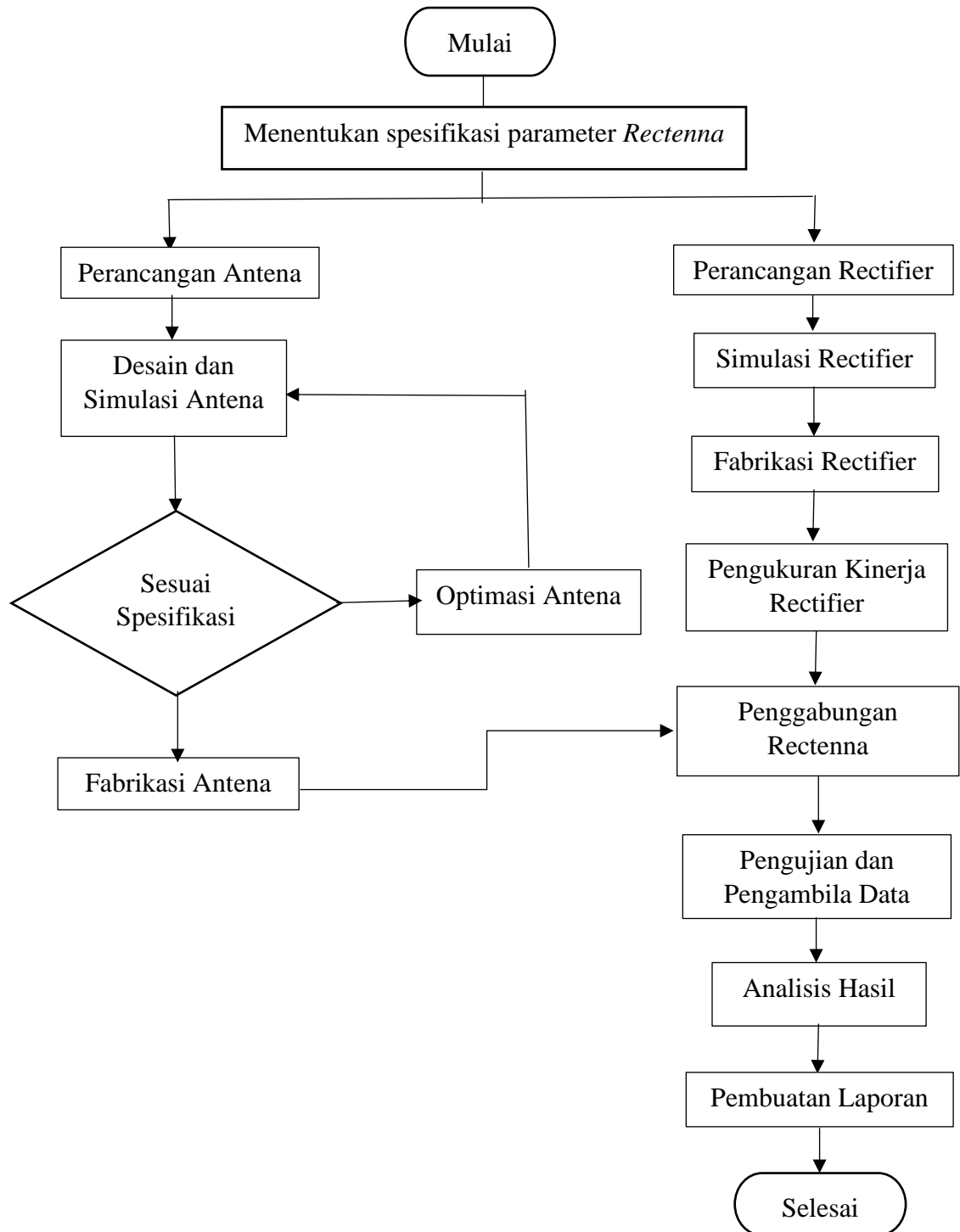
3.3.2 Skema



Gambar 3.1 Sistem pemanenan energi radio frekuensi

3.3.3 Perancangan dan Simulasi

Secara keseluruhan, perancangan sistem pemanenan energi radio frekuensi pada frekuensi kerja WiFi disajikan dalam diagram alir ditunjukkan pada **Gambar 3.2**



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

3.3.4 Langkah Penelitian

3.3.4.1 Menentukan Spesifikasi Rectenna

Spesifikasi yang akan digunakan dalam penelitian ini ditentukan terlebih dahulu sebelum perancangan alat dilakukan baik antenna maupun *rectifier*. Spesifikasi antenna tersebut adalah antenna yang akan dibuat berbentuk *circular* dengan berbahan substrat FR-4 Epoxy, bekerja pada frekuensi 2,4 GHz, memiliki $VSWR \leq 2$, dan $Return Loss (s_{11}) \leq -10$. Selanjutnya *rectifier* yang digunakan adalah *voltage doubler 3 stages* dengan menggunakan dioda BAT 17.

3.3.4.2 Perancangan Antena

Hasil perhitungan yang diperoleh pada **lampiran 1** dengan frekuensi kerja WiFi sekitar 2,4 GHz dan spesifikasi subtrat pada **Tabel 3.3**, menghasilkan nilai empiris untuk dimensi antenna yang dinyatakan pada **Tabel 3.4**

Tabel 3.3 Spesifikasi substrate yang digunakan

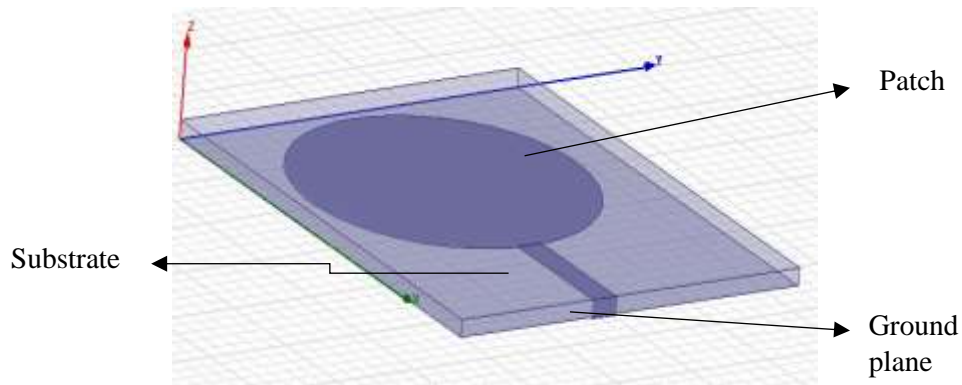
Jenis Substrat	Konstanta Dielektrik Relatif	<i>Dilectric Loss Tangent</i>	Ketebalan Substrat
FR4 Epoxy	4,4	0,02	1,6 mm

Tabel 3.4 Spesifikasi dimensi antenna yang digunakan

No	Simbol	Keterangan	Nilai
1	<i>a</i>	Jari-jari <i>Patch</i>	17,4 mm
2	<i>Ws</i>	Lebar Substrat	54,7 mm
3	<i>Ls</i>	Panjang Substrat	44,5 mm
4	<i>Wg</i>	Lebar <i>Ground</i>	54,7 mm
5	<i>Lg</i>	Panjang <i>Ground</i>	44,5 mm
6	<i>Wf</i>	Lebar <i>Feedline</i>	3,2 mm
7	<i>Lf</i>	Panjang <i>Feedline</i>	14,8 mm

3.3.4.3 Desain dan Simulasi Antena Menggunakan Software Ansoft HFSS 15.0

Software Ansoft HFSS 15.0 digunakan sebagai media untuk mendesain *antenna microstrip patch circular* serta melakukan simulasi untuk setiap parameter-parameter antenna.



Gambar 3.3 Desain *antena microstrip patch circular*

Karakteristik dasar antena mikrostrip terdiri dari bagian-bagian sebagai berikut.

Patch

Pada umumnya *patch* terbuat dari bahan konduktor seperti tembaga atau emas yang mempunyai bentuk bermacam-macam seperti lingkaran, segitiga, persegi ataupun *annular ring*. Bentuk *patch* yang digunakan pada penelitian ini berupa lingkaran seperti terlihat pada **Gambar 3.1**. *Patch* ini berfungsi untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik ke udara.

Substrate Dielectric

Substrate terbuat dari bahan-bahan dielektrik. *Substrate* yang digunakan dalam penelitian ini berjenis FR-4 Epoxy yang memiliki nilai dielektrik bahan sebesar 4,4 serta memiliki ketebalan sebesar 1,6 mm. *Substrate* ini berfungsi sebagai media penyalur Gelombang Elektromagnetik dari catuan.

Ground Plane

Ground plane terbuat dari bahan konduktor yang ukurannya selebar dan sepanjang substrat. Fungsi *ground plane* adalah sebagai *ground* antena.

Tabel 3.5 Rancangan Simulasi Antena dengan Jari-Jari *Patch* (a) 17 mm

Parameter	Lebar <i>Feedline</i> (W_f)					Spesifikasi yang diharapkan
	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm	7 mm	
VSWR						
<i>Return Loss</i>						

Tabel 3.6 Rancangan Simulasi Antena dengan Jari-Jari *Patch* (a) 18 mm

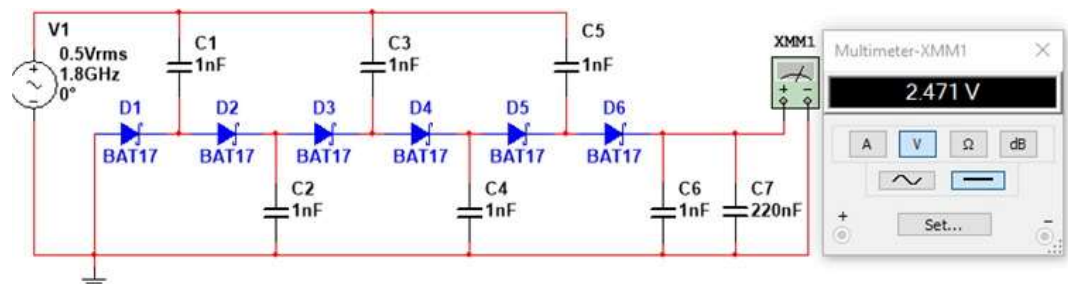
Parameter	Lebar <i>Feedline</i> (W_f)					Spesifikasi yang diharapkan
	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm	7 mm	
VSWR						
<i>Return Loss</i>						

Tabel 3.7 Rancangan Simulasi Antena dengan Jari-Jari *Patch* (a) 19 mm

Parameter	Lebar <i>Feedline</i> (W_f)					Spesifikasi yang diharapkan
	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm	7 mm	
VSWR						
<i>Return Loss</i>						

3.3.4.4 Perancangan *Rectifier*

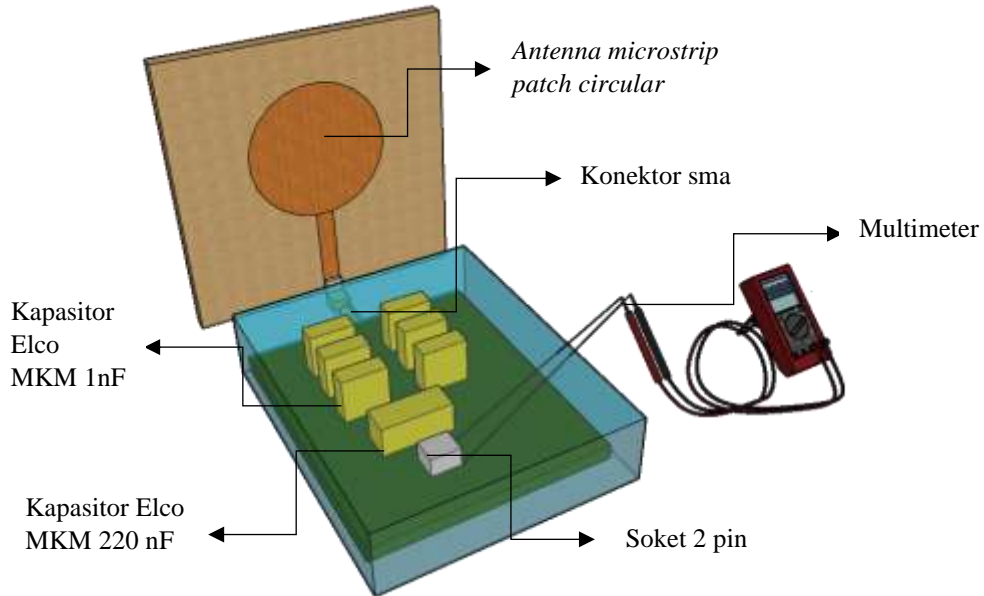
Pada penelitian ini, *rectifier* yang digunakan adalah *voltage doubler 3 stage* dengan menggunakan 6 buah *diode* jenis BAT 17 sebagai penyearah dan 6 buah kapasitor elco MKM 1 nF sebagai penyimpan tegangan muatan yang diberikan oleh tegangan *input*.

**Gambar 3.4** Rancangan *rectifier*

3.3.4.5 Pembuatan Alat

Pembuatan alat *rectenna* dilakukan di ruang Workshop Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Pembuatan alat dilakukan dengan mencetak antena yang telah didesain menggunakan *software* HFSS 15.0, setelah itu mencetak rangkaian *rectifier* di PCB kemudian merangkai

rectifier dengan komponen-komponen elektronika yang digunakan seperti diode dan kapasitor. Setelah itu mengintegrasikan antena dan *rectifier* menjadi sebuah *rectenna* dengan menggunakan port SMA sebagai penghubung keduanya.



Gambar 3.5 Rangkaian alat keseluruhan

3.3.4.6 Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan setelah alat selesai dibuat guna mengetahui apakah alat bekerja sesuai dengan baik atau tidak. Jika tidak, maka dilakukan kembali optimasi perancangan desain dan simulasi serta pencetakan alat kembali guna memperbaiki kinerja alat. Jika alat sudah dapat bekerja dengan baik, maka dapat dilakukan pengambilan data.

3.3.4.7 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan setelah alat berhasil dibuat dan diuji kinerjanya. Pengambilan data bertujuan untuk memperoleh informasi dalam rangka mencapai tujuan penelitian. Data yang diambil berupa tegangan *output* yang dapat dikumpulkan dari frekuensi kerja WiFi oleh *rectenna*.

Tabel 3.8 Rancangan Data Pengukuran *Rectenna* pada Pagi Hari

Pengukuran ke	Tegangan (mV)
1	
2	
3	

Tabel 3.9 Rancangan Data Pengukuran *Rectenna* pada Siang Hari

Pengukuran ke	Tegangan (mV)
1	
2	
3	

Tabel 3.10 Rancangan Data Pengukuran *Rectenna* pada Malam Hari

Pengukuran ke	Tegangan (mV)
1	
2	
3	

3.3.4.8 Pembuatan Laporan Akhir

Setelah diperoleh informasi melalui pengambilan data dalam penelitian, maka dilakukan analisis hasil yang dibahas dalam pembahasan dan kesimpulan penelitian dalam laporan akhir.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran tegangan keluaran yang diperoleh dari *rectenna* dengan WiFi pada frekuensi 2,4 GHz maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Telah dibuat desain antenna menggunakan software Ansoft HFSS 15.0 dengan hasil simulasi paling baik pada antenna dengan jari-jari *patch* 18 mm dan lebar *feedline* 5 mm, dengan nilai VSWR sebesar 12,7312 dan *Return Loss* sebesar -4,0849.
2. Telah dibuat rangkaian *rectifier Voltage Doubler 3 Stage* sebagai rangkaian penyearah yang telah didesain menggunakan Software NI Multism.
3. Telah direalisasikan sebuah perangkat *rectenna* yang dapat mengukur tegangan *output* dari WiFi ZTE F609 pada frekuensi 2,4 GHz dengan 3 kondisi waktu pengukuran pagi, siang, dan malam.

5.2 Saran

Saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah

1. Menambah variasi parameter antenna agar hasil simulasi dapat mendekati spesifikasi yang diharapkan.
2. Menambah jumlah stage pada *rectifier* agar tegangan *output* yang dihasilkan dapat lebih besar dengan mempertimbangkan rugi-rugi yang dihasilkan .
3. Melakukan penelitian lebih lanjut terkait pemilihan jenis dioda yang digunakan agar *output* tegangan yang dihasilkan lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrieyani, Citra., Sumajudin, Bambang., & Yunita, Trasma. (2020). Perbandingan Antena Mikrostrip Array Dual Band Dengan Pencatuan Microstrip Line Dan Electromagnetically Coupled (Emc). *Jurnal TEKTRIKA*, 5(1) 19-26.
- Budi, I. M. ., Nugraha, E. S., & Agung, A. (2017). Perancangan Dan Analisis Antena Mikrostrip Mimo Circular Pada Frekuensi 2.35 GHz Untuk Aplikasi LTE. *Jurnal Infotel*, 9(1) 136-146.
- Buwarda, S., & Azis, A. (2021). Rancang Bangun Multi Frekuensi Rectenna Untuk Energy Harvesting Gelombang Elektromagnetik. PROtek : *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 8(1) 49-53.
- Contreras, A., Rodriguez, B., Steinfeld, L., Schandy, J., & Siniscalchi, M. (2020). Design of a Rectenna for Energy Harvesting on Wi-Fi at 2.45 GHz. *2020 Argentine Conference on Electronics, CAE 2020*, 978. 63-68.
- Diana, M., Nazir, R., & Rufiyanto, A. (2017). Harvesting RF Ambient Energy dari End Device LoRa (Long Range Access). *Jurnal Infotel*, 9(4) 387-393.
- Fofana, Alpha and Mossberg Carl. (2019). Energy Harvesting From Ambient Wifi Energy : A Method Of Harvesting and Measuring Ambient Wifi Energy. KTH Royal Institute of Technology. Sweden.
- Hamdi(2016). *Energi Terbarukan* (M. P. Chichi Rahayu, S.Pd. (Ed.); Pertama). KENCANA.
- Habibullah. (2018). *Studi Perbandingan Antena Mikrostrip Patch Lingkaran Dan Antena Mikrostrip Patch Persegi Sebagai Penguat Sinyal Modem*. Skripsi.
- Hari, Bayu Sapta. (2019). *Mengenal Cahya Sebagai Gelombang*. Duta. Depok.
- Juwono, A.M and Nuriyah, Lailatin. (2017). *Elektromagnetisme*. UB Press. Malang

- Kirana, N. W., Hadi, S. P., dan Erni, Y. (2015). Desain dan Implementasi Variasi Dimensi Slot Pada Mikrostrip Double F Menggunakan Metode Finite Difference Time Domain (FDTD). *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, 15(1) 6-13.
- Mutmainnah, Octavina, C, R, N., & Firdaus, L, L, R, A. (2022). Antena Mikrostrip *Double E-Shaped* dengan Frekuensi 3,3 GHz untuk Aplikasi WiMax. *Jurnal Teknik Energi Elektrik*, 10(3) 555-567.
- Natalia A, S. S., Wijanto, H., & Wahyu, Y. (2018). Perancangan dan Realisasi Rectenna Pada Frekuensi WiFi Untuk Elektromagnetik Harvesting (Panen Gelombang Elektromagnetik). *Jurnal Teknik*, 5(2) 2229-2237.
- Permatasari, P. D. (2015). *Pelebaran Bandwidth Antena Mikrostrip dengan Struktur Pentanahan Tiruan*. Skripsi. Surabaya, Fakultas Teknologi Industri ITS.
- Rahajoeningroem, T., & Vilandika, H. (2017). Rancang Bangun Alat Pengisi Baterai Telepon Genggam Memanfaatkan Sinyal Radio Frekuensi Design of the Mobile Phone Charger in Using of the Radio *Ojs.Unikom.Ac.Id*, 5(2) 145-148.
- Rajab, M, N, Rahmatur., Koesmarijanto., & Saptono, Rachmat. (2019). Perancangan Rangkaian Rectifier Pada Sistem Rf Energy Harvesting Dengan Antena Televisi Pada Frekuensi Uhf. *Jurnal JARTEL*, 9 (4) 464-469.
- Rante, J. C., & Patras, M. A. R. (2018). Analisis Kekuatan Sinyal Wi-Fi Menggunakan Inssider. *Jurnal Ilmiah Realtech*, 14(1).
- Rizal, A., Mattulada, R., Wahyu, Y., Elektro, F. T., Telkom, U., & Harvesting, E. (2018). *Perbandingan Daya Keluaran Rectenna Singleband dan Multiband Pada RF Energy Harvesting 900-2400 MHz Universitas TELKOM*. 5(1). Hal 760.
- Rivaldo, Riyan., Wijanto, Heroe., & Wahyu, Yuyu. (2018). RECTENNA (RECTIFIER ANTENNA) 800 Mhz - 2500 Mhz, *Jurnal Teknik*, 5(2) 2281-2288.
- Sandi, Yulianus. (2016). Perancangan dan Analisa Circular Polarity Antenna Crosshair Waveguide Sebagai Penguat Wifi Adapter Tp-Link Tl-Wn723n Pada Frekuensi 2,4 GH. *Jurnal Teknik Elektro*, 2(1).

- Saputra, S. H., Jayati, A. E., & Erlinasari, E. (2019). Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Circular Dengan Teknik Linier Array Untuk Frekuensi Wifi 2,4 Ghz. *Elektrika*, 11(1) 9-14.
- Suandi, I., Hanafi, & Rachmawati. (2018). Pemanenan Energi Frekuensi Radio 1.800 MHz Menggunakan Rectifier Antena Untuk Perangkat Portable. *LITEK*, 15(2) 21-28.
- Suhartono., Lu'mu., Yantahin, M., dan Jaya, W, S. (2022). *Teknik Digital dan Analog*. Nas Media Pustaka. Makassar.
- Surjati, Indra., Alam, syah., dan Hotman, Saut. (2017). Polarisasi Melingkar Antena Mikrostrip E Shaped dengan Pencatu Electromagnetic Coupling. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 13 (1) 35-41.
- Tondang, R. (2018). *Pilih Mana Energi Fosil atau Energi Terbarukan?* <https://www.mongabay.co.id/2018/08/25/pilih-mana-energi-fosil-atau-energi-terbarukan/>
- Wibowo, R. (2015). Simulasi dan Fabrikasi Antena Mikrostrip Dipole dengan Length Shifter sebagai Pengubah Frekuensi. *Tesis*. Surabaya: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, ITS. <http://repository.its.ac.id/59924/1/1111201902-Master%20Thesis.pdf>.
- Zikri A, Hariyawan, M, Y., dan Harpawi, N. (2016). Desain dan Implementasi Antena Mikrostrip *Single Rectangular Patch* pada Band Frekuensi 1920-2180 MHz untuk Pemanen Energi Gelombang Elektromagnetik. *Jurnal Elementer*, 2(2) 13-24.