

**SWITCH RECTENNA: RANCANG BANGUN SWITCH RECTIFIER ANTENNA  
SEBAGAI PEMANEN ENERGI ELEKTROMAGNETIK (RF HARVESTING)  
YANG EFISIEN PADA FREKUENSI 2.4 GHz**

**SKRIPSI**

**TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI**

Diajukan untuk memenuhi syarat  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ABDUL ROZAQ SYAMSUDDIN**

**NIM. 115060307111008**

**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2017**



**LEMBAR PENGESAHAN**

***SWITCH RECTENNA: RANCANG BANGUN SWITCH RECTIFIER ANTENNA  
SEBAGAI PEMANEN ENERGI ELEKTROMAGNETIK (RF HARVESTING)  
YANG EFISIEN PADA FREKUENSI 2.4 GHz***

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI**


Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ABDUL ROZAQ SYAMSUDDIN  
NIM. 115060307111008**

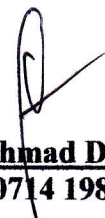
Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada Februari 2017

Dosen Pembimbing I



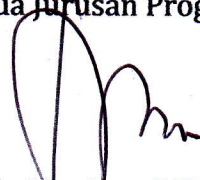
**Rudy Yuwono, S.T., M.Sc.**  
**NIP. 19710615 199802 1 003**

Dosen Pembimbing II



**Ir. Erfan Achmad Dahlan, M.T.**  
**NIP. 19530714 198203 1 001**

Mengetahui  
Ketua Jurusan Program Studi



**M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D.**  
**NIP. 19741203 200012 1 001**

**JUDUL SKRIPSI:**

**SWITCH RECTENNA: RANCANG BANGUN SWITCH RECTIFIER ANTENNA  
SEBAGAI PEMANEN ENERGI ELEKTROMAGNETIK (RF HARVESTING)  
YANG EFISIEN PADA FREKUENSI 2.4 GHz**

**Nama Mahasiswa : ABDUL ROZAQ SYAMSUDDIN**

**NIM : 115060307111008-63**

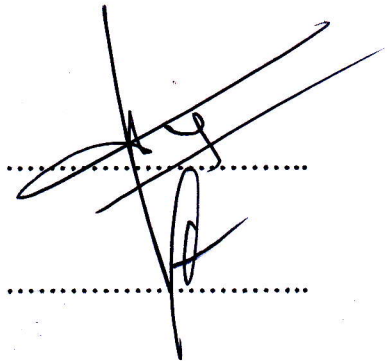
**Program Studi : TEKNIK ELEKTRO**

**Konsentrasi : TEKNIK TELEKOMUNIKASI**

**Komisi Pembimbing :**

**Ketua : Rudy Yuwono, S.T., M.Sc.**

**Anggota : Ir. Erfan Achmad Dahlan, M.T.**



.....

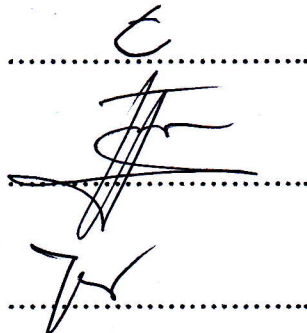
.....

**TIM DOSEN PENGUJI :**

**Dosen Penguji 1 : Ir. Endah Budi P., M.T.**

**Dosen Penguji 2 : Dwi Fadila K., S.T., M.T.**

**Dosen Penguji 3 : Ir. Wahyu Adi Prijono, M.T.**



.....

.....

.....

**Tanggal Ujian : 27 Januari 2017**

**SK Penguji : No. 171/UN10.F07/SK/2017**

## 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, 27 Januari 2017

Mahasiswa,



Abdul Rozaq Syamsuddin

NIM. 115060307111008

## RINGKASAN

**Abdul Rozaq Syamsuddin**, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2017, *Switch Rectenna: Rancang Bangun Switch Rectifier Antenna Sebagai Pemanen Energi Elektromagnetik (RF Harvesting) Yang Efisien Pada Frekuensi 2.4 GHz*, Dosen Pembimbing: Rudy Yuwono, Erfan Achmad Dahlan

Radiasi gelombang elektromagnetik masih menjadi topik hangat diantara para ilmuwan dunia. Setidaknya hal ini terjadi setelah semakin masifnya penyakit yang mewabah manusia akibat faktor mutasi genetika yang tidak wajar. Sebanyak 74 dari 114 publikasi ilmiah melaporkan adanya pengaruh radiasi penggunaan frekuensi radio terhadap mutasi gen, sedangkan sisanya melaporkan tidak terjadi perubahan mutasi gen pada organ selular. Disisi lain, radiasi gelombang elektromagnetik berpeluang untuk menjadikannya sebagai sumber pengganti energi. Karena penggunaannya yang masif dan kemungkinan akan semakin berkembang dimasa yang akan datang. Dilihat dari 2 permasalahan yang ada, dirancanglah sebuah alat yang mengambil titik tengah permasalahan dan menjadikan penggunaannya menjadi lebih efisien karena dapat mengurangi radiasi namun juga tetap menjaga kualitas sinyal yang ada.

Tujuan akhir dari penelitian ini adalah memberikan poin efisiensi terhadap aplikasi *rf harvesting* yang memberikan kemudahan terhadap pengguna yang ingin menyala / mematikan *rectifier* secara *remote* dengan menggunakan *webserver*. Serta memberikan solusi untuk mengurangi polusi gelombang elektromagnetik sesuai dengan kebutuhan pengguna tanpa takut kehilangan kualitas sinyal dari pancaran pengirim.

Pada penelitian ini metode yang dilakukan yaitu pengambilan data, mendesain antenna dengan menggunakan *software CST 2014*, mendesain modul ESP8266 dan *rectifier* menggunakan *software eagle 7.0*, fabrikasi *switch rectifier antenna*, analisis hasil pengujian dan kesimpulan serta saran. Data berupa karakteristik masing-masing komponen elektronika yang digunakan diambil dari laman manufaktur komponen.

Adapun langkah pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mendesain antenna mikrostrip dengan bentuk patch sirkular yang dapat berfungsi pada frekuensi 2400 MHz. Setelah didapatkan hasil yang sesuai ketika simulasi berlangsung, maka dilakukan fabrikasi dan pengukuran hasil uji fabrikasi.

Langkah kedua adalah mendesain modul ESP8266 menggunakan *software eagle 7.0* dan memprogram modul ESP8266 dengan menggunakan *software Arduino IDE*. Setelah mendesain *routing*, fabrikasi dilakukan dan uji *webserver* dilakukan menggunakan perangkat computer atau *smartphone* yang terhubung dalam satu jaringan local yang sama dengan ESP8266.

Langkah ketiga adalah mendesain *rectifier* supaya dapat bekerja pada frekuensi 2400 MHz. pemilihan komponen yakni dioda disesuaikan dengan frekuensi kerja yang diinginkan. Pada langkah ini digunakan dioda HSMS 2828 dan kapasitor sebesar 10 uF, untuk kemudian difabrikasi dan dilakukan pengukuran berdasarkan parameter perubahan jarak.

Berdasarkan pengujian dan analisis terhadap hasil pengujian didapatkan *switch rectifier antenna* dapat bekerja dengan memanfaatkan *webserver* dan dapat diakses dimanapun selama mendapatkan konektivitas nirkabel dalam jaringan yang sama. Adapun nilai keluaran daya pada *rectifier* tanpa menggunakan *relay* adalah sebesar -1.884dBm pada jarak terdekat 1m, dan nilai keluaran daya sebesar -14.948dBm pada jarak terjauh 5m. Sedangkan penggunaan *rectifier* dengan menggunakan *relay* menunjukkan tren penurunan daya dengan jarak terdekat 1m bernilai -3.071dBm, dan jarak terjauh 5m bernilai -14.948dBm. *Switch rectifier antenna* juga telah diuji cobakan untuk tetap aktif selama 4x24jam, dan tetap dapat bekerja secara normal setelah dilakukan evaluasi.

**Kata kunci:** *Switch rectifier antenna, ESP8266 webserver, efficient rectenna.*

## SUMMARY

**Abdul Rozaq Syamsuddin**, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, January 2017, *Switch Rectenna: Designing Efficient Switch Rectifier Antenna System Works at 2.4 GHz*, Academic Supervisor: Rudy Yuwono and Erfan Achmad Dahlan

Electromagnetic radiation become major concerns within scientists across the world. At least, after they found diseases which causes from unusual formed gene mutation. About 74 of 114 scientific publications reported there is an effects of radiation made from rf uses, and the rest reported there is no effects made according to rfuses. In the other hand, electromagnetic radiation likely to become one of the alternative energy source, looking from the massive use and rapidly growing within the next years. Viewed from the 2 existed problems, a solution proposed to overcome and made it easier and efficient since it will reduce electromagnetic radiation but still maintained a quality of signal.

The main objective of the research is to give an efficient point in rf harvesting application by turning on/off the component remotely using a webserver. Also give a solution to reduce electromagnetic pollution as user need without having worry for losing signal quality source.

In this study, using some tools as collecting data, design antenna with CST 2014 software, design ESP8266 module and rectifier with data collection, design of collectors with eagle 7.0 software, fabrication of switch rectifier antenna, test results analysis and made conclusions as well as suggestions. Component characteristics information is obtain from web manufacturer.

The first step from the research is to design microstrip antenna with circular patch works at 2400 Mhz. After having the results of simulation, antenna is going to fabricate and measurement test conducts.

The second step is design ESP8266 module using eagle 7.0 software and program ESP8266 with Arduino IDE software. After simulate the routing with the eagle software, then fabrication made and webserver tested by using computer or smartphone which connected within the same network as ESP8266.

The third step is design rectifier to work at 2400 MHz. Choosing the component is vital as it only works depends of their characteristics. A single HSMS2828 diode and 10uF capacitor is choose at this plan, fabrication made the measurements based on varying length from transmitter to receiver.

Based on the test, results analysis shows that switch rectifier antenna works well by using webserver and accessible everywhere within the same wireless local network. A test results for rectifier without relay attached is -1.884dBm for distance 1m, and -14.948dBm in 5m. While a test results for rectifier connected with relay showed a downward trend for distance 1m is -3.071dBm, and 5m is -14.948dBm. Switch rectifier antenna has been tested to worked for 4x24hours continuously and it still work normally after evaluation made.

**Keywords:** Switch rectifier antenna, ESP8266 webserver, efficient rectenna.

## PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena atas rahmat, karunia dan ridlo-Nya penyusunan skripsi dengan judul “*Switch Rectenna : Rancang Bangun Switch Rectifier Antenna* Sebagai Pemanen Energi Elektromagnetik (*Rf Harvesting*) Yang Efisien Pada Frekuensi 2.4 GHz” dapat diselesaikan. Penulis menyadari bahwa kajian ini tak akan mencapai titik akhir penyelesaian tanpa bantuan berbagai pihak, karenanya secara tertulis penulis sampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak M. Azis Muslim, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
2. Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
3. Rudy Yuwono, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan motivasi, dan saran pada penyusunan skripsi ini.
4. Ir. Erfan Achmad Dahlan, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan motivasi, dan saran pada penyusunan skripsi ini.
5. Kedua orang tua, Bapak Mochammad Syamsuddin AR, Ibu Masfeyah Abdullah dan Kakak Mochammad Thanthowy Syamsuddin yang senantiasa mendoakan, memberikan nasihat, kasih sayang, dan perhatiannya.
6. Bapak dan Ibu dosen serta karyawan Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
7. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah turut membantu baik dalam penyelesaian skripsi ini.

Tiada yang sempurna di dunia ini, tersadar bahwa skripsi ini sangat jauh dari kesempurnaan. Karenanya, segala kritik dan saran yang sifatnya membangun dari pembaca tentang skripsi ini akan diterima dengan senang hati. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan

Malang, Januari 2017

Penyusun

## DAFTAR ISI

<b>PENGANTAR .....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>viii</b>
<b>PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar belakang .....	1
1.2. Rumusan masalah .....	2
1.3. Batasan masalah.....	3
1.4. Tujuan .....	3
1.5. Sistematika penulisan.....	4
<b>TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1. ESP8266 WiFi.....	5
2.1.1 Arduino IDE .....	6
2.1.2 Node MCU.....	6
2.2. <i>RF Harvesting</i> .....	6
2.3. <i>Switch Rectenna</i> .....	7
2.3.1 <i>Rectifier</i> .....	7
2.3.2 Dioda HSMS 2828.....	9
2.3.3 <i>Relay</i> .....	10
2.3.4 Proses Arus AC Menjadi Arus DC Oleh <i>Rectifier</i> .....	10
2.4. <i>Antenna Microstrip</i> .....	11
2.5. Penyesuai Impedansi Antena.....	14
2.6. Parameter Dasar Antena.....	15



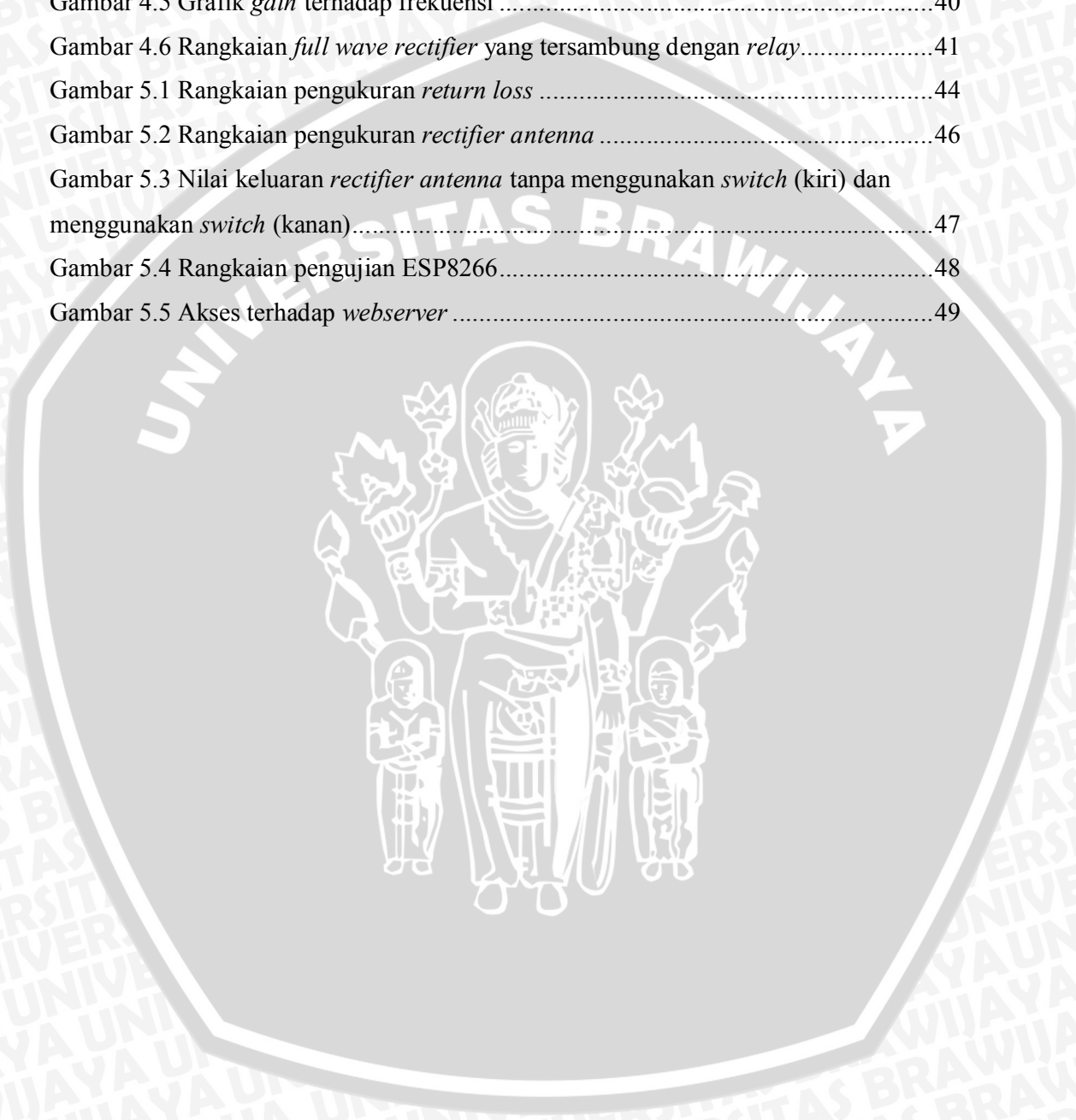
2.6.1	<i>Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)</i> .....	15
2.6.2	<i>Return Loss</i> .....	16
2.6.3	Lebar Pita ( <i>Bandwidth</i> ).....	17
2.6.4	<i>Gain</i> .....	18
2.6.5	Polarisasi.....	19
2.6.6	<i>Axial Ratio</i> .....	21
2.6.7	Pola Radiasi.....	22
2.7	Spektrum Elektromagnetik.....	25
2.7.1	<i>Ionizing Radiation</i> .....	26
2.7.2	<i>Non-Ionizing Radiation</i> .....	26
2.7.3	Efek Radiasi Spektrum Elektromagnetik.....	27
2.7.4	Sifat Spektrum Gelombang Elektromagnetik.....	27
<b>METODE PENELITIAN</b> .....		<b>29</b>
3.1.	Studi Literatur.....	29
3.2.	Pengumpulan Data.....	29
3.3.	Perancangan Sistem <i>Switch Rectifier Antenna</i> .....	30
3.3.1	Perancangan Antena Mikrostrip.....	30
3.3.2	Perancangan <i>Switch Rectifier</i> .....	32
3.3.3	Perancangan ESP8266 & <i>Webserver</i> .....	32
3.4.	Pengambilan Kesimpulan.....	34
<b>PERANCANGAN SWITCH RECTIFIER ANTENNA</b> .....		<b>35</b>
4.1.	Tinjauan Umum.....	35
4.2.	Perancangan Antena Mikrostrip.....	35
4.2.1	Spesifikasi Substrat dan Bahan Konduktor.....	35
4.2.2	Perencanaan Dimensi Elemen Peradiasi.....	36
4.2.3	Perencanaan Dimensi <i>Circular Patch</i> .....	36
4.2.4	Perencanaan Dimensi <i>Ground Plane</i> .....	37

4.2.5	Perencanaan Dimensi Saluran Transmisi.....	37
4.2.6	Simulasi Antena Mikrostrip .....	38
4.2.7	Simulasi Bentuk Akhir Antena Mikrostrip .....	38
4.2.8	Hasil Simulasi Antena Mikrostrip .....	39
4.3.	Perancangan <i>Switch Rectifier</i> .....	41
4.4.	Perancangan ESP8266 .....	42
4.5.	Impedansi Pada Antena .....	42
<b>ANALISIS HASIL PERANCANGAN SWITCH RECTIFIER ANTENNA.....</b>		<b>43</b>
5.1.	Tinjauan Umum .....	43
5.2.	Pengukuran Antena Mikrostrip .....	43
5.2.1	Alat-alat yang digunakan .....	43
5.2.2	Prosedur Pengukuran .....	43
5.2.3	Hasil Pengukuran .....	44
5.2.4	Analisis Hasil Pengukuran .....	45
5.3.	Pengukuran dan Kinerja <i>Rectifier Antenna</i> .....	45
5.3.1	Alat-alat yang digunakan .....	45
5.3.2	Prosedur Pengukuran dan Pengujian .....	46
5.3.3	Hasil Pengukuran dan Pengujian .....	46
5.4.	Pengukuran Kinerja ESP8266 dan <i>Webserver</i> .....	47
5.4.1	Alat-alat yang digunakan .....	48
5.4.2	Prosedur Pengukuran dan Pengujian .....	48
5.4.3	Hasil Pengujian .....	49
<b>PENUTUP.....</b>		<b>50</b>
6.1.	Kesimpulan.....	50
6.2.	Saran.....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>51</b>

## DAFTAR GAMBAR

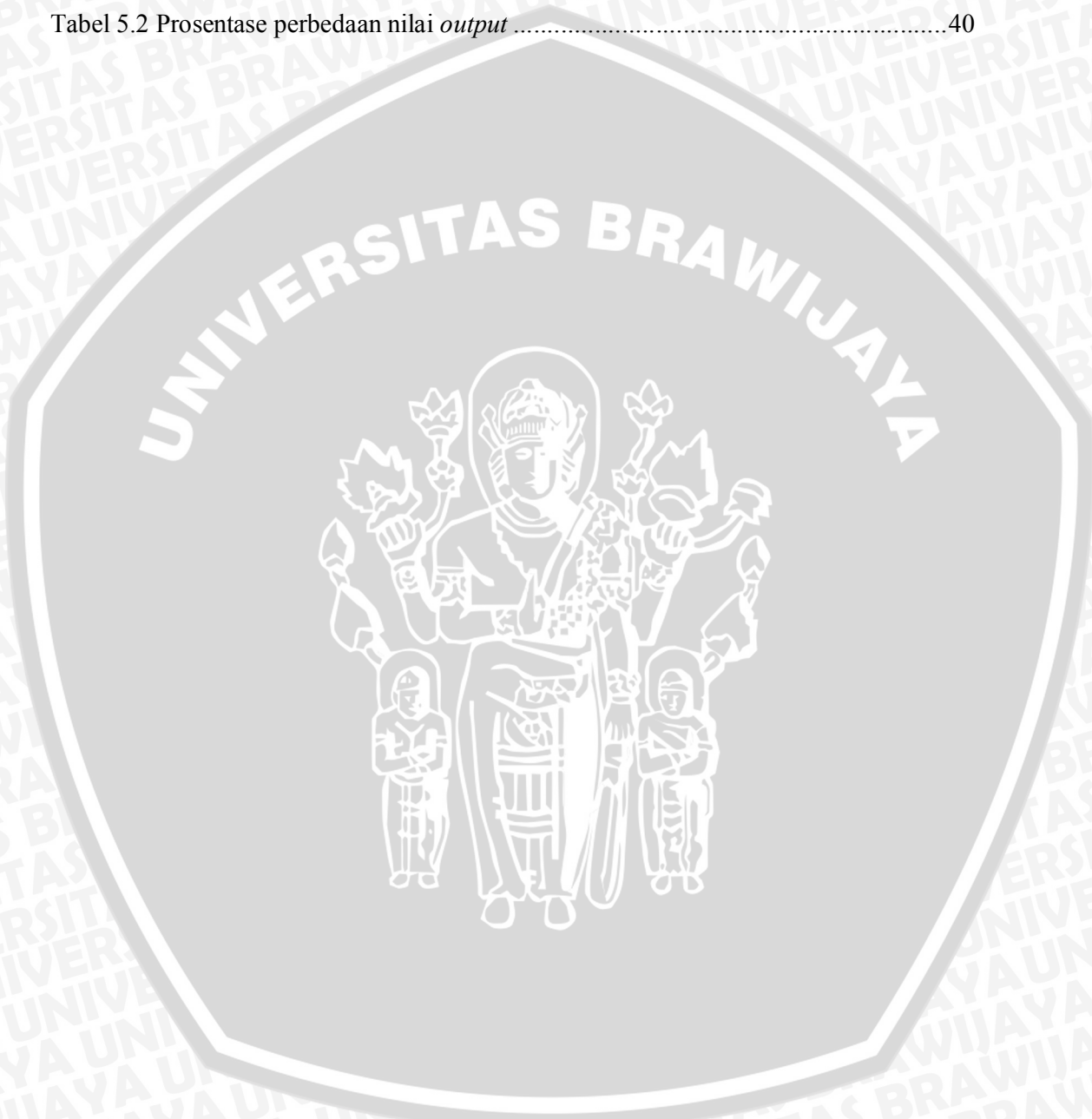
Gambar 2.1 Modul WiFi ESP8266 .....	5
Gambar 2.2 Konfigurasi pin modul WiFi ESP8266 .....	5
Gambar 2.3 Blok diagram <i>rectenna</i> .....	7
Gambar 2.4 Skema umum <i>rectifier</i> .....	7
Gambar 2.5 Rangkaian <i>full wave rectifier</i> .....	8
Gambar 2.6 Blok diagram <i>full wave rectifier</i> .....	8
/Gambar 2.7 <i>Top view</i> HSMS 2828 .....	9
Gambar 2.8 <i>Relay</i> songle SPDT .....	10
Gambar 2.9 Rangkaian <i>rectifier</i> sederhana .....	11
Gambar 2.10 Ilustrasi gelombang masuk dan keluaran <i>rectifier</i> .....	11
Gambar 2.11 Struktur antena mikrostrip .....	12
Gambar 2.12 Bentuk <i>patch</i> antena mikrostrip .....	12
Gambar 2.13 (Kiri) Korelasi efisiensi dan lebar pita terhadap antena mikrostrip, (Kanan) Korelasi <i>gain</i> antena terhadap <i>loss tangent</i> .....	13
Gambar 2.14 Pengukuran <i>bandwidth</i> berdasarkan <i>plot return loss</i> .....	18
Gambar 2.15 Macam-macam bentuk polarisasi .....	20
Gambar 2.16 Bentuk polarisasi linier dan sirkular .....	20
Gambar 2.17 Pola radiasi (a) <i>lobe</i> radiasi dan <i>beamwidth</i> dari pola antena dan (b) gambaran secara linier pola radiasi .....	22
Gambar 2.18 Pola radiasi <i>isotropis</i> .....	21
Gambar 2.19 Pola radiasi <i>directional</i> .....	21
Gambar 2.20 Pola radiasi <i>omnidirectional</i> .....	25
Gambar 2.21 Spektrum gelombang elektromagnetik .....	25
Gambar 2.22 Spektrum gelombang elektromagnetik menurut jenis radiasi .....	26
Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian .....	29
Gambar 3.2 Diagram perhitungan dimensi antena mikrostrip .....	30
Gambar 3.3 Diagram alir perancangan & fabrikasi antena .....	30
Gambar 3.4 <i>Routing switch rectifier</i> .....	32
Gambar 3.5 Diagram alir perancangan <i>switch rectifier</i> .....	33
Gambar 3.6 <i>Routing adapter</i> modul ESP8266 .....	33
Gambar 3.7 Diagram alir perancangan ESP8266 & <i>webserver</i> .....	34

Gambar 4.1 Bentuk akhir geometri antena mikrostrip .....	39
Gambar 4.2 Grafik <i>return loss</i> terhadap frekuensi.....	39
Gambar 4.3 Grafik VSWR terhadap frekuensi .....	40
Gambar 4.4 Grafik <i>axial ratio</i> terhadap frekuensi .....	40
Gambar 4.5 Grafik <i>gain</i> terhadap frekuensi .....	40
Gambar 4.6 Rangkaian <i>full wave rectifier</i> yang tersambung dengan <i>relay</i> .....	41
Gambar 5.1 Rangkaian pengukuran <i>return loss</i> .....	44
Gambar 5.2 Rangkaian pengukuran <i>rectifier antenna</i> .....	46
Gambar 5.3 Nilai keluaran <i>rectifier antenna</i> tanpa menggunakan <i>switch</i> (kiri) dan menggunakan <i>switch</i> (kanan).....	47
Gambar 5.4 Rangkaian pengujian ESP8266.....	48
Gambar 5.5 Akses terhadap <i>webserver</i> .....	49



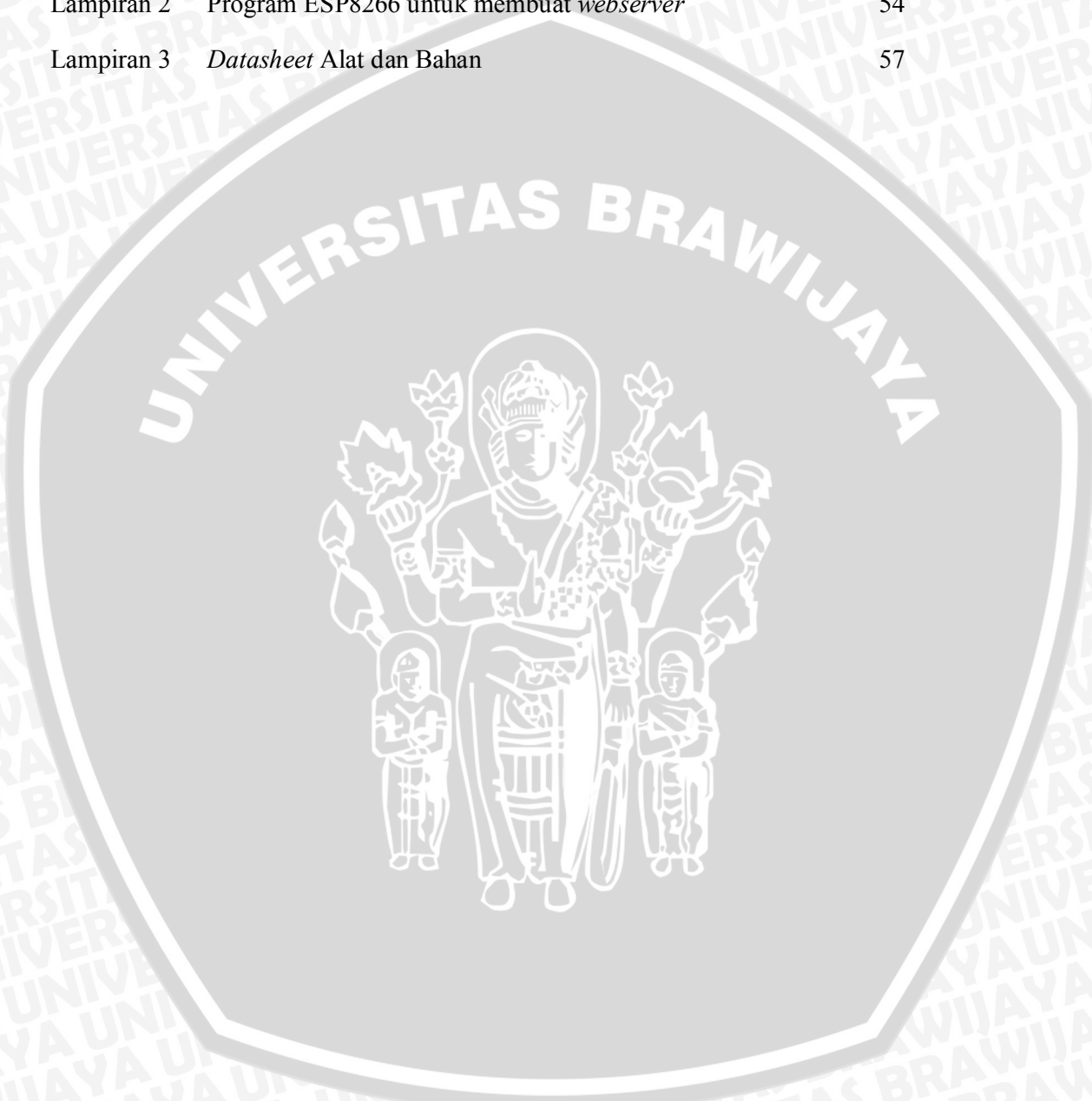
### DAFTAR TABEL

Tabel 5.1 Hasil pengukuran <i>return loss</i> , perhitungan koefisien pantul, dan perhitungan VSWR.....	40
Tabel 5.2 Prosentase perbedaan nilai <i>output</i> .....	40



## DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	Halaman
Lampiran 1	Dokumentasi perangkat pengujian <i>switch rectifier antenna</i>	52
Lampiran 2	Program ESP8266 untuk membuat <i>websver</i>	54
Lampiran 3	<i>Datasheet</i> Alat dan Bahan	57



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar belakang

Perkembangan dunia Telekomunikasi dibidang komunikasi nirkabel berpengaruh besar terhadap pola pikir manusia dalam menggunakan sebuah perangkat. Hadirnya komunikasi nirkabel sebagai sebuah layanan komunikasi yang semakin baik dari sisi kualitas delay yang kecil dan aksesibilitas yang luas tidaklah lepas dari industri antena yang berkembang pesat. Teknologi antena yang berperan penting dalam dunia nirkabel karena dimensinya yang kecil bernama antena mikrostrip.

Sesuai dengan namanya, antena mikrostrip merupakan antena yang berukuran mikro dengan dimensi umum tidak melebihi dari 5cm persegi. Dimensi yang kecil menjadikan karakteristik antena berbanding terbalik terhadap frekuensi, sehingga dapat digunakan pada perangkat yang berdimensi kecil. Aplikasi antena mikrostrip sangatlah luas, selain sebagai transduser yang mengubah aliran listrik menjadi gelombang elektromagnetik, antena mikrostrip juga dapat berfungsi sebagai pemanen energi elektromagnetik. Alat yang dimaksud untuk melakukan *RF Harvesting* dinamakan *rectenna*.

*Rectenna* adalah kombinasi antara antena dan *rectifier*, dengan prinsip kerja yang diawali ketika energi *wireless* diterima oleh antena yang tersambung dengan *rectifying diodes* melalui *filter* dan *matching impedance*. *Rectifying Diodes* merubah penerimaan energi *wireless* menjadi tegangan DC. *Low pass filter* akan menyesuaikan antara beban dengan *rectifier*. (J. Zhang, dkk, 2013).

Pemodelan antena mikrostrip pada penggunaan *rectenna* ini bekerja pada frekuensi >1GHz. Oleh karenanya, *rectenna* dapat digunakan pada aplikasi RF pada umumnya seperti GSM/CDMA, WiMAX, WiFi, Radar, dll. Penggunaan *rectenna* pada aplikasi RF ini mempunyai 3 kelebihan utama: (1) Daya tahan penggunaannya hampir tak terbatas. (2) Menjadi sumber energi “hijau” baru yang berasal dari lingkungan. (3) Mengurangi “polusi” gelombang elektromagnetik di udara sekitar.

Keberadaan *rectenna* sebagai sebuah *rf harvester* merupakan salah satu bentuk solusi untuk mengurangi polusi gelombang elektromagnetik yang beredar di lingkungan sekitar. Meskipun keberadaan gelombang elektromagnetik tidak dapat dilihat secara visual dan akan berkembang semakin masif pada tahun-tahun yang akan datang. Namun, gelombang elektromagnetik yang terpancar disekitar seringkali merupakan gelombang

elektromagnetik yang tak terpakai sehingga secara tak langsung mempunyai pengaruh buruk bagi kesehatan manusia.

Menurut asosisasi pencegahan kecelakaan dari UK, penggunaan telepon genggam saat berkendara mempunyai potensi 4x lebih besar terjadinya kecelakaan dibanding yang tidak menggunakannya. Terlihat wajar secara nalar, namun menarik bahwa kecelakaan yang terjadi ketika berkendara ternyata bukan diakibatkan oleh ketidaksiapan otak saat melakukan *multitasking* saat berkendara dan memegang telepon genggam. Juga bukan akibat distraksi yang terjadi saat berkendara sambil berbincang. Melainkan akibat dari pengaruh radiasi gelombang elektromagnetik dari telepon genggam terhadap otak yang kemudian menciptakan informasi palsu yang bersifat lemah namun dianggap nyata oleh otak. Sehingga berakibat melemahnya pemrosesan informasi secara umum. (Goldsworthy A, 2007)

Meski *rectenna* dianggap sebagai sebuah solusi untuk mengurangi dampak radiasi pasif dari gelombang elektromagnetik. Namun perdebatan keberadaan *rectenna* itu sendiri seringkali diperbincangkan. Karena penggunaan *rectenna* sebagai sebuah *rf harvester* justru mengganggu kualitas sinyal yang ada di sekeliling pemancar. Oleh karena hal tersebut, perlu kiranya dibuat sebuah sistem yang dapat menyatukan proses kerja *rectenna* dengan lebih efisien tanpa mengganggu kualitas sinyal yang ada.

Penelitian ini membahas perancangan *rectifier antenna* dengan merubah gelombang elektromagnetik menjadi bentuk energi lain, yakni arus DC. Fungsi efisiensi dilakukan menggunakan komponen tambahan berupa *switch* yang terhubung dengan komponen ESP8266 WiFi yang dapat mengakses *switch rectifier antenna* melalui *webserver*. Sehingga *rectifier antenna* dapat dihidup dan matikan secara manual disesuaikan dengan kondisi penggunaan ruang yang menggunakan komunikasi nirkabel berfrekuensi 2.4 GHz.

## 1.2. Rumusan masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas maka pembahasan dalam skripsi ini ditekankan pada:

1. Bagaimana perancangan dan uji performansi antena mikrostrip pada frekuensi kerja 2.4GHz untuk melakukan proses pemanenan (*harvesting*) energi RF?
2. Bagaimana perancangan sistem *switch rectifier antenna* menggunakan *switch* dan ESP8266?



3. Bagaimana uji performansi sistem *switch rectifier antenna* dilakukan dengan pengaruh perubahan jarak, ketahanan penggunaan, dan pengukuran menggunakan *switch* dan tanpa *switch*?

### 1.3. Batasan masalah

Berdasarkan pembahasan di atas, maka batasan masalah yang ditentukan adalah:

1. Antena mikrostrip yang dilakukan perancangan bekerja pada frekuensi 2.4GHz.
2. Simulasi dan optimasi menggunakan *Software CST 2014*.
3. Parameter uji performansi simulasi antena mikrostrip adalah *VSWR* atau *return loss*, *bandwidth*, *gain*, polarisasi, dan axial ratio.
4. Parameter uji fabrikasi antena mikrostrip adalah *VSWR* atau *return loss*.
5. Karakteristik perhitungan parameter antena didapatkan dari kutipan referensi dan tidak menjadi topik utama untuk dibahas lebih lanjut.
6. Karakteristik alat uji antena tidak dibahas lebih lanjut.
7. Akses kepada *webservice* untuk melakukan *trigger switch* menggunakan modul ESP8266.
8. Spesifikasi antena mikrostrip:
  - ✓ Bahan Epoxy fiberglass – FR 4
    - Konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) = 3,9
    - Ketebalan lapisan dielektrik ( $h$ ) = 0,0016 m = 1,6 mm
    - Loss tangent* ( $\tan \delta$ ) = 0,0018
  - ✓ Bahan pelapis substrat (konduktor) tembaga:
    - Ketebalan bahan konduktor ( $t$ ) = 0,00001 m = 0,01 mm
    - Koduktifitas tembaga ( $\sigma$ ) =  $5,8 \times 10^{-7}$  mho  $m^{-1}$
    - Frekuensi kerja ( $f_r$ ) = 2400 MHz
  - ✓ Impedansi karakteristik saluran = 50  $\Omega$

### 1.4. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merealisasikan sebuah sistem *switch rectifier antenna* yang dapat bekerja secara efisien dengan memanfaatkan *relay* dan *webservice* untuk menghidup dan matikan disesuaikan dengan kebutuhan. Sehingga diharapkan dapat mengurangi paparan radiasi gelombang elektromagnetik yang dapat mengganggu atau

bahkan merubah struktur jaringal terkecil dari tubuh yakni sel dan mengubahnya menjadi bentuk energi lain yang dapat dimanfaatkan.

### 1.5. Sistematika penulisan

Sistematika pembahasan skripsi ini disusun sebagai berikut :

**BAB I : PENDAHULUAN**

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

**BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi dasar teori yang digunakan untuk mendukung permasalahan yang ditelaah.

**BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

Berisi tahapan penyelesaian yang meliputi studi literatur, pengambilan data, perancangan, simulasi, fabrikasi, pengujian, dan analisa data.

**BAB IV : PERANCANGAN SISTEM SWITCH RECTIFIER ANTENNA**

Berisi tahapan yang dilakukan dalam melakukan proses perancangan, simulasi, analisis, serta fabrikasi *switch rectifier antenna* yang bekerja pada frekuensi 2.4 GHz.

**BAB V : ANALISIS DAN PERHITUNGAN**

Berisi tentang pembahasan, perhitungan, dan analisis data yang diajukan dalam penelitian.

**BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisi kesimpulan hasil dan pembahasan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. ESP8266 WiFi

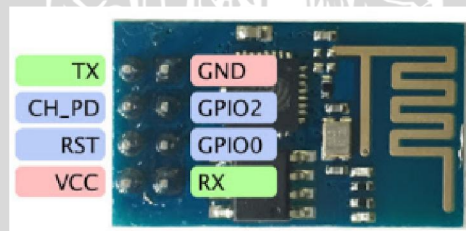
ESP8266 merupakan *board* WiFi yang menawarkan solusi jaringan secara lengkap, mandiri, berharga murah, dan telah mendukung penggunaan TCP/IP secara otomatis. Komponen *chip* integrasi ini dapat diaplikasikan dengan sensor-sensor melalui pin *input-output* dengan melakukan program singkat pada serial TTL yang dilengkapi 2 buah pin GPIO.



Gambar 2.1 Modul WiFi ESP8266

Sumber: Dokumentasi penulis

Konfigurasi ESP8266 dapat dilakukan secara *interface* dan juga dengan menggunakan *AT Command*. Fungsi *AT Command* sendiri merupakan komunikasi terminal melalui pin GPIO dengan komputer.



Gambar 2.2 Konfigurasi pin modul WiFi ESP8266

Sumber: Dokumentasi penulis

Pemrograman ESP8266 dapat dilakukan menggunakan banyak *software* seperti Arduino IDE, dan LUALoader. Penelitian ini, menggunakan Arduino IDE sebagai *software programming*.

### 2.1.1 Arduino IDE

Perangkat lunak Arduino IDE merupakan *platform open source* yang dapat digunakan untuk melakukan pemrograman mikrokontroler secara umum. IDE sendiri merupakan kependekan dari *Integrated Development Environment* yang merupakan program khusus untuk dapat melakukan rancangan atau sketsa program pada *platform* perangkat keras Arduino. Adapun bahasa pemrograman yang digunakan pada Arduino IDE adalah pemrograman JAVA.

### 2.1.2 NodeMCU

Sebagai salah satu *firmware* yang seringkali digunakan untuk melakukan pemrograman, NodeMCU bersifat *open-source* dan telah termasuk *development kit* untuk memudahkan penggunaan *Internet of Things (IoT)*. Penggunaan NodeMCU pada aplikasi ESP8266 digunakan untuk melakukan proses *flashing firmware* pada modul.

## 2.2. Radio Frequency Harvesting

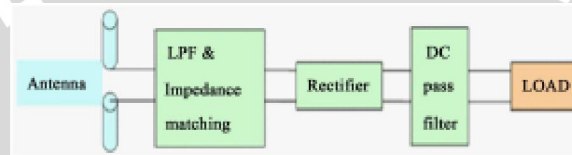
Energi hijau merupakan sebuah isu yang masih menjadi topik besar diantara para cendekiawan. Hal ini dipercaya karena bahan bakar konvensional seperti batu bara, dan minyak bumi jika tidak dikurangi penggunaannya maka akan terjadi krisis besar dalam bidang pemenuhan energi, sehingga diusulkanlah alternative lain seperti penggunaan panel surya, kincir angin, sampai pemanenan energi menggunakan sumber gelombang elektromagnetik. Selain itu, faktor lingkungan dipercaya menjadi alasan terbesar dalam pengembangan energi hijau.

Penelitian pada topik *radio frequency harvesting* mempunyai kendala yang cukup besar karena titik efisiensi yang masih kecil. Meskipun demikian, topik ini tetap populer akibat 3 kelebihan utama: (1) Daya tahan penggunaannya hampir tak terbatas, selama komponen utama tidak terjadi *short circuit* atau pun *overwork* maka tidak diperlukan penggantian komponen. (2) Sumber energi “hijau” baru yang berasal dari lingkungan, karena adanya sumber yang hampir tak terbatas dari gelombang elektromagnetik. (3) Mengurangi “polusi” gelombang elektromagnetik di udara sekitar melalui paparan tak langsung.

### 2.3. Switch Rectifier Antenna

*Rectenna* pertama kali dikembangkan oleh Raytheon George di *Purdue University* pada tahun 1963. Awal mula uji coba *rectenna* menggunakan komponen utama terdiri dari antena dipole  $\frac{1}{2}\lambda$  yang terhubung dengan penyesuai beban dengan bahan dioda semi konduktor tipe IN82G. Keluaran pada elemen *rectenna* dihubungkan langsung ke beban. (Nasa, 1980).

Penggunaan istilah *rectenna* adalah kepanjangan dari *rectifying antenna* pada sistem saluran transmisi gelombang mikro, umumnya menggabungkan fungsi dari antena dan rangkaian *rectifier*. Secara umum perancangan *rectenna* pada *radio frequency* terdiri dari antena, rangkaian *impedance matching*, *rectifier*, *filter* dan beban seperti terlihat pada gambar 2.1.



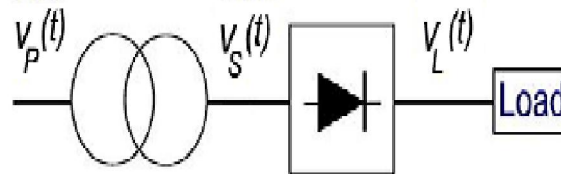
Gambar 2.3 Blok diagram *rectenna*

Sumber: J. Zhang, dkk, 2013

Adapun penambahan *switch* pada *rectifier antenna* ini didasarkan pada penggunaan umum saat ini yang masih membutuhkan interaksi langsung manusia untuk memati dan hidupkan rangkaian *rectenna*. Selain itu, penggunaan *rectenna* sendiri masih dianggap mengganggu akibat “pencurian” daya pancar gelombang elektromagnetik dari pemancar sehingga mengurangi daya penerimaan perangkat.

#### 2.3.1 Rectifier

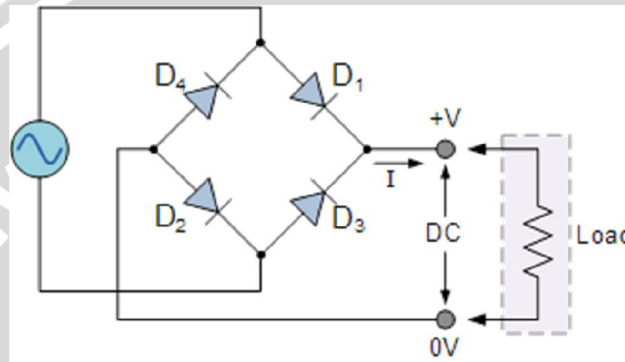
Penyearah gelombang (*rectifier*) adalah bagian dari *power supply*/catu daya yang berfungsi untuk mengubah sinyal tegangan AC menjadi tegangan DC. Skema umum *rectifier* seperti ditunjukkan pada gambar 2.4 menunjukkan  $V_p(t)$  akan meneruskan  $V_s(t)$  dan merubah tegangan AC menjadi DC ke beban  $V_L(t)$ .



Gambar 2.4 Skema umum *rectifier*

Sumber: Roberto Visintini: 2012

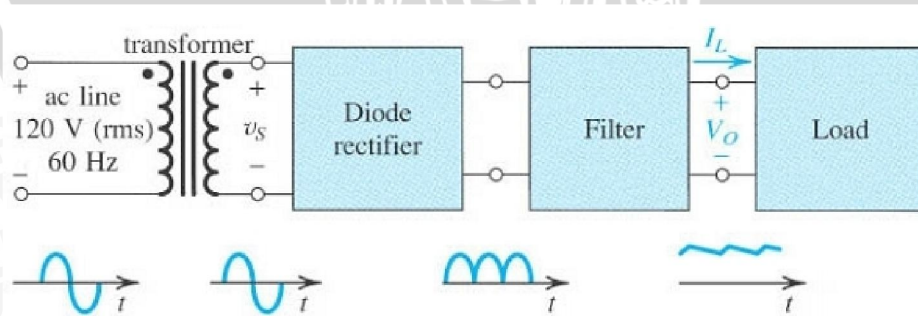
Penerapan *rectifier* pada rangkaian jamak dilakukan dengan berbagai macam metode, salah satunya adalah *full wave rectifier*. *Full wave rectifier* mempunyai kelebihan dibanding menggunakan *half wave rectifier*, dimana pada *full wave rectifier* ketika sinus bertemu negatif, maka tegangan yang dihasilkan masih *tercapture* oleh alat pengukur. Sebaliknya ketika menggunakan *hal wave rectifier*, maka yang *tercapture* oleh alat ukur hanya pada satu siklus yakni positif atau negative, sehingga terdapat *losses* yang cukup signifikan jika diterapkan dalam aplikasi yang besar.



Gambar 2.5 Rangkaian *full wave rectifier*

Sumber: Perancangan

Sedangkan dalam aplikasinya, *full wave rectifier* umumnya bersanding juga dengan *capacitor* yang berfungsi sebagai *filter* dalam rangkaian. Seperti terlihat pada Gambar 2.5, bahwa tegangan yang masuk adalah sinus AC, kemudian *diode rectifier* menyearahkan tegangan menjadi tegangan DC, dan *capacitor* menghilangkan *ripple* yang tidak diinginkan dan menjadikannya sebagai DC murni.



Gambar 2.6 Blok diagram *full wave rectifier* dengan *filter*

Sumber: Perancangan

Penggunaan *capacitor* sebagai *filter* dapat dijelaskan ketika tegangan masukan naik, maka *capacitor* akan menyimpan tegangan sampai batas maksimum. Sedangkan

ketika tegangan menurun, maka kapasitor akan melepaskan energi yang disimpan menuju beban sehingga beban teraliri tegangan DC yang dibuktikan dengan penggunaan alat ukur. Penentuan nilai kapasitor dalam sebuah rangkaian *full wave rectifier* dapat disederhanakan dengan menggunakan perhitungan matematis sebagai berikut,

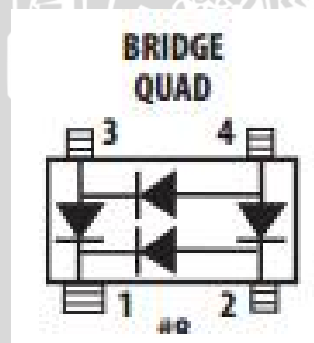
$$C = \frac{I}{2 * f * V_{ripple}} \quad (2-1)$$

Keterangan:

- C = *Capasitor* (kapasitor) nilai yang dibutuhkan
- I = Arus yang diinginkan
- f = Frekuensi (Hz)
- *Vripple* = Tegangan *ripple*

### 2.3.2 Dioda Schottky Diode HSMS 2828

Schottky diode HSMS 2828 merupakan salah satu rangkaian seri dari HSMS 282x yang berjenis komponen SMD. Dioda ini secara khusus dirancang untuk aplikasi komponen elektronika analog maupun digital. Penggunaannya disesuaikan dengan spesifikasi dan konfigurasi seperti melakukan deteksi, *switching*, *sampling*, dan *clamping*. Pemilihan dioda ini didasarkan pada ketersediaan bahan di pasar. Secara aplikatif, penggunaan dioda jenis ini mempunyai performansi yang lebih rendah daripada jenis HSMS 285x, HSMS 286x, dan SMS 7630.



Gambar 2.7 Top view HSMS 2828

Sumber: Datasheet Avago HSMS 282x Family

Meskipun demikian, penggunaan dioda dengan jenis HSMS 2828 lebih efisien dari segi biaya dan komponen. Karena dalam satu model telah terdapat 4 buah dioda dan harga yang ditawarkan bersifat ekonomis dibanding dengan dioda schottky jenis yang lain. Keluarga HSMS 282x telah dioptimasi untuk dapat digunakan pada aplikasi RF, seperti:

- Detektor sinyal rendah DC *biased* sampai pada frekuensi 1.5GHz.
- Detektor sinyal besar *biased* atau *unbiased* sampai pada frekuensi 4GHz.
- *Mixer* dan pengganda frekuensi sampai pada frekuensi 6GHz.

### 2.3.3 Relay

*Relay* adalah perangkat listrik yang berfungsi sebagai saklar listrik dengan cara kerja adalah diberikan tegangan pada kaki 1 dan kaki ground pada kaki 2 relay maka secara otomatis posisi kaki CO (*Change Over*) pada relay akan berpindah dari kaki NC (*Normally Close*) ke kaki NO (*Normally Open*). Secara prinsip, *relay* merupakan tuas saklar dengan lilitan kawat pada batang besi (*solenoid*) di dekatnya. Ketika *solenoid* dialiri arus listrik, tuas akan tertarik karena adanya gaya magnet yang terjadi pada *solenoid* sehingga kontak saklar akan menutup. Pada saat arus dihentikan, gaya magnet akan hilang, tuas akan kembali ke posisi semula dan kontak saklar kembali terbuka.

Penelitian ini menggunakan *relay* bermerk songle yang berjenis SPDT (*single pole double throw*) yang memiliki lima terminal, yakni dua terminal kumparan dan tiga terminal saklar yang terhubung ke pusat.

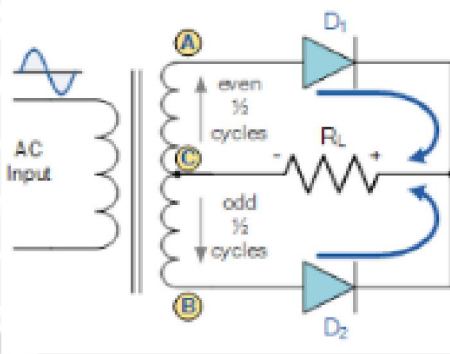


**Gambar 2.8** *Relay* songle SPDT  
Sumber: Dokumentasi penulis

### 2.3.4 Proses Arus AC Menjadi Arus DC Oleh *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).

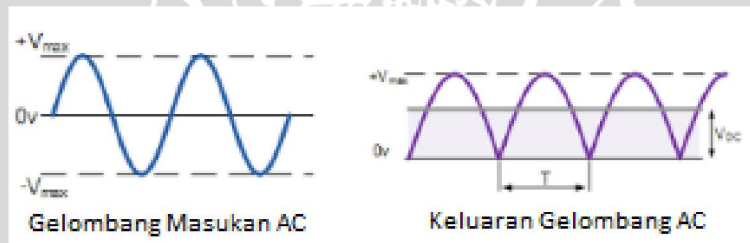




Gambar 2.9 Rangkaian *rectifier* sederhana

Sumber: Dokumentasi penulis

Prinsip kerja penyearah gelombang penuh adalah sistem penyearah yang menyearahkan semua siklus gelombang sinus menggunakan 1 atau lebih blok dioda yang bekerja secara beriringan. Satu dioda bekerja pada fasa siklus positif dan satu dioda bekerja pada fasa siklus negatif yang telah dibalik. Rangkaian ini menghasilkan tegangan DC dengan riak (*ripple*) yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan penyearah setengah gelombang. Hal ini dikarenakan gelombang yang dihasilkan lebih rapat akibat penggabungan dari siklus sinyal positif sinus dan siklus sinyal negatif yang telah dibalik menjadi siklus positif.



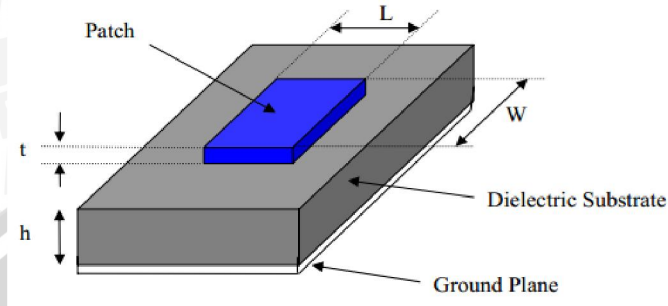
Gambar 2.10 Ilustrasi gelombang masuk dan keluaran *rectifier*

Sumber: Dokumentasi penulis

#### 2.4. *Antenna Microstrip*

Antena merupakan sebuah komponen yang digunakan sebagai media transmisi dengan fungsi merambatkan atau menerima gelombang elektromagnetik. Performansi dari antena didefinisikan pada berbagai parameter antena yang dapat dipengaruhi oleh bentuk, ukuran, dan fungsi penggunaan antena. Antena mempunyai karakteristik berbanding terbalik antara frekuensi dengan besaran dimensinya. Penggunaan antena untuk frekuensi 2.4GHz dapat dilakukan dengan menggunakan antena mikrostrip.

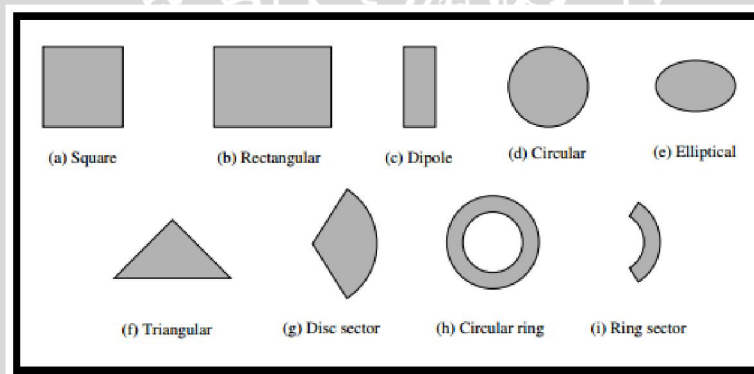
Antena mikrostrip merupakan antena yang terdiri dari elemen konduktor pada satu sisi penampang *planar* atau *non-planar* substrat dielektrik dengan terdapat *ground plane* pada sisi yang lain. Selain itu, terdapat *feed* sebagai titik catu antena dan *dielectric substrate* seperti terlihat pada gambar 2.8.



**Gambar 2.11** Struktur antena mikrostrip

Sumber: Nakar, 2004:40

Umumnya bentuk elemen konduktor dengan dasar *circular* dan *rectangular* banyak digunakan karena biaya fabrikasi yang lebih rendah dan mudah, seperti ditunjukkan pada gambar 2.12 merupakan macam bentuk *patch* yang digunakan pada antena mikrostrip.



**Gambar 2.12** Bentuk *patch* antena mikrostrip

Sumber: Balanis, 2005:813

Substrat berfungsi sebagai bahan dielektrik dari antena mikrostrip yang membatasi elemen peradiasi dengan elemen pentanahan (*ground plane*). Elemen ini memiliki jenis bervariasi yang dapat digolongkan berdasarkan nilai konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) dan ketebalannya ( $h$ ). Kedua nilai tersebut mempengaruhi frekuensi kerja, *bandwidth*, dan efisiensi dari antena yang akan dibuat. Setiap substrat memiliki nilai konstanta dielektrik yang berkisar antara  $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$  dan ketebalan substrat yang berkisar antara  $0.003\lambda_0 \leq h \leq 0.05 \lambda_0$ . Pada 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).

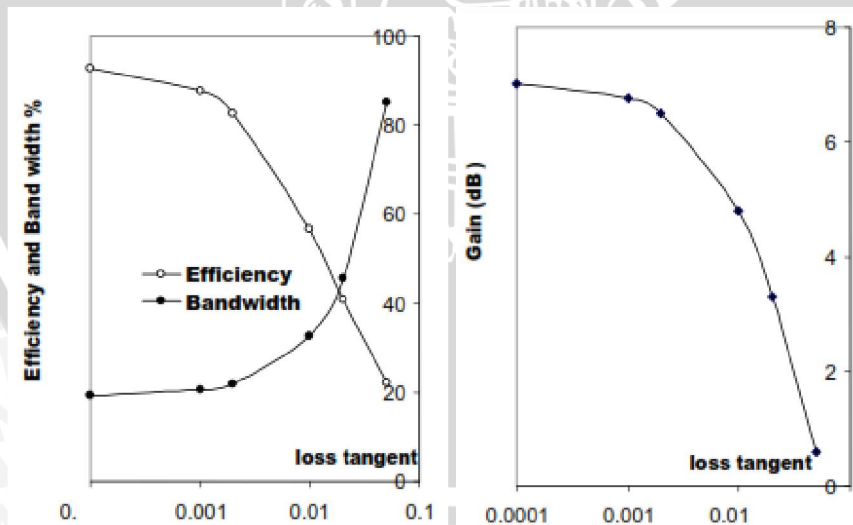
Variasi nilai konstanta dielektrik pada substrat dapat mempengaruhi perhitungan terhadap efisiensi antenna. Total efisiensi antenna umumnya didefinisikan sebagai,

$$\frac{1}{Q_t} = \frac{1}{Q_{rad}} + \frac{1}{Q_c} + \frac{1}{Q_d} + \frac{1}{Q_{sw}} \quad (2-2)$$

dimana

- $Q_t$  = Keseluruhan *quality factor*
- $Q_{rad}$  = *Quality factor* dipengaruhi oleh rugi-rugi radiasi gelombang ruang
- $Q_c$  = *Quality factor* dipengaruhi oleh rugi-rugi konduktivitas (*ohmic*)
- $Q_d$  = *Quality factor* dipengaruhi oleh rugi-rugi dielektrik
- $Q_{sw}$  = *Quality factor* dipengaruhi oleh rugi-rugi gelombang permukaan

Keseluruhan *quality factor*, *bandwidth*, *gain*, dan efisiensi pada antenna merupakan sebuah bentuk representasi pada antenna yang saling terkait dan tidak ada panduan khusus untuk melakukan optimasi tiap-tiap parameter yang dimaksud. Oleh karenanya, akan terjadi tarik ulur hasil performa pada masing-masing parameter antenna. Sehingga didapatkan hasil ketika menginginkan hasil terbaik dari parameter tertentu, akan mempengaruhi hasil parameter yang lain.



**Gambar 2.13** (Kiri) Korelasi efisiensi dan lebar pita terhadap antenna mikrostrip, (Kanan) Korelasi *gain* antenna terhadap *loss tangent*

Sumber: Salman, Prof.. dkk, 2006

Gambar 2.13 menunjukkan adanya pengaruh perubahan *loss tangent* pada substrat antena mikrostrip terhadap *gain*, *bandwidth*, dan efisiensi. Terlihat dengan meningkatnya nilai *tangent* dari (0.0001 ke 0.05) menjadikan nilai efisiensi dan *gain* tereduksi dari (92.7% ke 22.12%) dan dari (7.02 ke 0.599dB) secara berturut. Sedangkan untuk nilai *bandwidth* bertambah dari (1.04%) menjadi (4.56%). Sehingga nilai *loss tangent* yang meningkat memberikan keluasan pada *bandwidth* namun mengurangi efisiensi dan *gain* pada antena.

*Ground plane* adalah bagian metalik pada sisi belakang substrat dielektrik yang berfungsi sebagai reflektor yang memantulkan sinyal yang tidak diinginkan.

*Feed* atau pencatuan adalah teknik yang digunakan untuk menghubungkan antena mikrostrip dengan saluran transmisi lainnya. Metode *feeding* terdiri atas beberapa macam, diantaranya *microstrip line*, *coaxial probe*, *aperture coupling*, dan *proximity coupling*. Dari keempatnya, *microstrip line* merupakan teknik pencatuan yang paling mudah untuk dibuat dan disesuaikan pengaturan posisi komponen pada saat proses fabrikasi.

Slot antena merupakan salah satu metode yang dikembangkan sekitar awal tahun 1950-an yang berfungsi untuk meningkatkan *bandwidth* antena pada aplikasi *printed slot*. Selain itu, slot antena juga dapat menghasilkan pola radiasi *bidirectional*.

## 2.5 Penyesuai Impedansi Antena

Saluran transmisi digunakan untuk mengirimkan daya dari sumber menuju beban untuk diteruskan dengan meradiasikannya ke ruang bebas. Daya yang dikirimkan oleh radiator secara ideal diharuskan mempunyai rugi-rugi yang sangat kecil, karena berkaitan dengan faktor efisiensi pengiriman. Penyesuai impedansi dirancang untuk menghindari adanya *mismatch* antara beban dan saluran masuk transmisi sehingga daya terkirim dapat dimaksimalkan dengan tidak adanya rugi-rugi dan distorsi pada saluran transmisi. (Gupta, 2010:562)

Salah satu parameter utama pada saluran transmisi adalah impedansi karakteristik  $Z_0$ . Apabila diketahui konstanta dielektrik substrat ( $\epsilon_r$ ) dan dimensi saluran transmisi ( $w$  dan  $d$ ), maka persamaan matematis untuk pendekatan karakteristik impedansi dapat dinyatakan sebagai berikut,

$$Z_0 = \begin{cases} \left( \frac{60}{\sqrt{\epsilon_e}} \right) \ln \left[ 8 \frac{d}{w} + \frac{w}{4d} \right] & \text{untuk } \frac{w}{d} \leq 1 \\ \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_e} \left[ \frac{d}{w} + 1,393 + 0,667 \ln \left( \frac{w}{d} + 1,444 \right) \right]} & \text{untuk } \frac{w}{d} \geq 1 \end{cases} \quad (2-3)$$

dimana:

$\epsilon_e$  = konstanta dielektrik efektif saluran mikrostrip

$\epsilon_r$  = konstanta dielektrik substrat

$P_U$  = daya yang diterima antenna uji (W)

$P_R$  = daya yang diterima antenna referensi (W)

Nilai konstanta dielektrik efektif pada (2-3) dapat dicari dengan persamaan (2-4):

$$\epsilon_e = \left( \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right) + \left( \frac{\epsilon_r - 1}{2} \right) \left( \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{d}{w}}} \right) \quad (2-4)$$

## 2.6 Parameter Dasar Antena

Untuk Menggambarkan performa 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). Terdapat beberapa karakteristik antena yang perlu dan penting untuk diketahui dalam pemilihan maupun perancangan sebuah antena. Karakteristik itu antara lain: *voltage standing wave ratio*, *return loss*, *bandwidth*, *gain*, polarisasi, dan axial ratio.

### 2.6.1 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

*Voltage Standing Wave Ratio* adalah perbandingan antara besar tegangan maksimum ( $V_{max}$ ) dan besar tegangan minimum ( $V_{min}$ ) pada tegangan gelombang berdiri (*standing wave*). *Standing wave ratio* adalah sebuah ukuran ketidakseuaian antara beban dan saluran transmisi, semakin tinggi nilai SWR semakin tinggi pula ketidaksesuaian antara beban dan saluran transmisi (Gupta, 2010). SWR dapat diekspresikan dalam bentuk tegangan ataupun arus, yang dinyatakan dalam persamaan (2-7):

$$VSWR = \frac{|V_{max}|}{|V_{min}|} = \frac{|V_i| + |V_r|}{|V_i| - |V_r|} \quad (2-5)$$

$$\rho = \frac{V_r}{V_i} \quad (2-6)$$

$$VSWR = \frac{1 + \frac{|V_r|}{|V_i|}}{1 - \frac{|V_r|}{|V_i|}} = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|} \quad (2-7)$$

dimana:

$V_i$  = tegangan gelombang maju (*incident wave*)

$V_r$  = tegangan gelombang pantul (*reflected wave*)

$\rho$  = koefisien pantul (biasanya dituliskan dengan lambang  $\Gamma$ )

### 2.6.2 Return Loss

*Return loss* merupakan parameter untuk mengetahui besarnya daya yang hilang pada beban dan tidak kembali sebagai pantulan. Koefisien pantul adalah perbandingan antara tegangan gelombang yang dipantulkan dengan tegangan gelombang maju, yang dinyatakan dalam persamaan (2-8):

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} \quad (2-8)$$

$$RL = -20 \log \Gamma \quad (2-9)$$

dimana:

$\Gamma$  = koefisien pantul

RL = *Return Loss* (dB)

Antena dianggap baik jika memiliki nilai *return loss* dibawah -10 dB, yang berarti bahwa 90% sinyal dapat diserap dan 10% sinyal dipantulkan kembali (Punit, 2004:19). 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.

Hubungan antara *return loss* dan juga VSWR dengan mengacu pada persamaan (2-5) sampai dengan (2-9) adalah saling terkait. Hal ini dapat dibuktikan sebagai berikut,

$$VSWR = \frac{|V_{max}|}{|V_{min}|} = \frac{|V_i| + |V_r|}{|V_i| - |V_r|} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2-10)$$

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i}$$

$$V^- = \Gamma V^+$$

$$VSWR = \frac{V^+ + \Gamma V^+}{V^+ - \Gamma V^+}$$

$$VSWR = \frac{V^+(1 + |\Gamma|)}{V^+(1 - |\Gamma|)}$$

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

Sedangkan untuk *return loss* dengan mengasumsikan daya pantul maksimal adalah sejumlah 10% dari daya yang ditransmisikan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} RL(dB) &= 10 \log \frac{P_r}{P_t} \\ &= 10 \log \frac{10}{100} \\ &= 10 \log 0.1 \end{aligned} \quad (2-11)$$

$$= 10 \text{ dB}$$

Serta korelasi VSWR terhadap *return loss* yang mempunyai nilai nominal maksimal untuk VSWR = 2 dan *return loss* = -10 dB adalah sebagai berikut,

$$RL = -20 \log \Gamma \quad (2-12)$$

$$-10 \text{ dB} = 20 \log \Gamma$$

$$-\frac{1}{2} = \log \Gamma$$

$$\Gamma = 0.3 = \frac{1}{3}$$

Kemudian masukkan perhitungan matematis dari (2-x) ke dalam (2-x), sehingga didapatkan,

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2-13)$$

$$= \frac{1+\frac{1}{3}}{1-\frac{1}{3}}$$

$$= \frac{1+\frac{4}{3}}{1-\frac{2}{3}}$$

$$= 2$$

### 2.6.3 Lebar Pita (*Bandwidth*)

Lebar pita didefinisikan sebagai rentang frekuensi dimana kinerja antenna dengan mengacu pada beberapa karakteristik memenuhi standar yang telah ditentukan. Pada antenna *broadband*, lebar pita dinyatakan sebagai perbandingan frekuensi atas dan frekuensi bawah dalam rentang frekuensi kerja antenna yang dinyatakan dalam persamaan (2-14). Pada antenna *narrowband*, lebar pita dinyatakan sebagai presentase selisih frekuensi (frekuensi atas dikurangi frekuensi bawah) terhadap frekuensi tengah (Punit, 2004:22), yang dinyatakan dalam persamaan (2-15) :

$$BW_{\text{broadband}} = \frac{f_u}{f_l} \quad (2-14)$$

$$BW_{\text{narrowband}} = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100\% \quad (2-15)$$

$$f_c = \frac{f_u + f_l}{2} \quad (2-16)$$

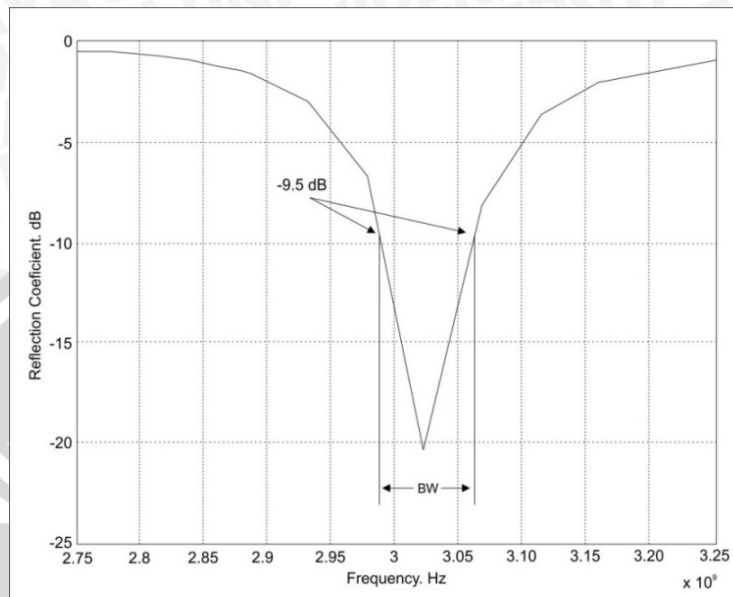
dimana:

$f_u$  = frekuensi atas

$f_l$  = frekuensi bawah

$f_c$  = frekuensi tengah (*center*)

Salah satu cara untuk menentukan *bandwidth* dapat dilakukan dengan mengukur lebar rentang frekuensi dengan batasan di bawah -9.5 dB atau -10 dB pada grafik *return loss*, yang dilukiskan dengan Gambar 2.14.



**Gambar 2.14** Pengukuran *bandwidth* berdasarkan *plot return loss*

Sumber: Nakar, 2004:22

#### 2.6.4 Gain

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

$$Gain = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2-17)$$

dimana:

$U(\theta, \phi)$  = intensitas radiasi antenna (W)

$P_{in}$  = daya masukan total yang diterima antenna (W)

*Gain* antenna dibedakan menjadi *absolute gain* dan *relative gain*. *Absolute gain* suatu antenna (pada arah tertentu) didefinisikan sebagai perbandingan intensitas radiasi antenna pada arah tertentu terhadap intensitas radiasi yang akan diperoleh jika daya yang diterima antenna diradiasikan secara isotropis. Intensitas radiasi dari daya yang



diradiasikan secara isotropis sebanding dengan daya yang diterima (pada terminal *input*) antenna dibagi dengan  $4\pi$ , yang dinyatakan dalam persamaan:

$$G = 10 \log 4\pi \frac{U_m}{P_{in}} \quad (2-18)$$

dimana:

$G$  = gain antenna (dB)

*Relative gain* suatu antenna didefinisikan sebagai perbandingan penguatan daya pada arah tertentu terhadap penguatan daya antenna referensi dalam acuannya (dengan catatan bahwa kedua antenna mempunyai daya masukan yang sama). Untuk *gain* relatif, antenna referensi yang digunakan berupa antenna sumber isotropis tanpa rugi. Persaman (2-18)

Penguatan daya disini mempunyai pengertian yang tidak sama dengan penguatan daya yang sering dijumpai pada amplifier. Penguatan daya mempunyai pengertian perbandingan daya yang dipancarkan oleh suatu antenna tertentu dibandingkan dengan daya yang dipancarkan oleh suatu antenna isotropis yang bentuk polanya seperti bola. *Radiator* isotropis sebenarnya adalah konsep teoritis, sedang pada praktisnya *gain* antenna biasanya dibandingkan dengan intensitas radiasi sebuah antenna standar dipole  $\frac{1}{2} \lambda$  yang kira-kira 1,64 kali atau 2,15 dB dibandingkan dengan suatu *radiator* isotropis. Sehingga besar *gain* terhadap sumber isotropis adalah:

$$G = 1.64x \frac{P_U}{P_R} \quad (2-19)$$

$$G = 10 \log 1.64x \frac{P_U}{P_R} \quad (2-20)$$

$$G = 2.15 + P_U(\text{dBm}) - P_R(\text{dBm}) \quad (2-21)$$

dimana:

$G$  = gain antenna uji (dB)

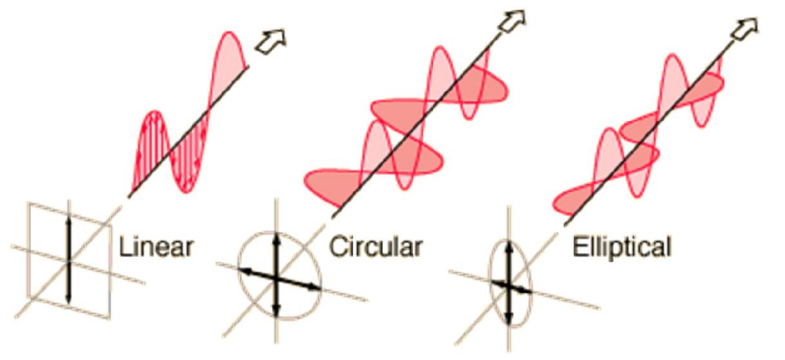
$P_U$  = daya yang diterima antenna uji (W)

$P_R$  = daya yang diterima antenna referensi (W)

### 2.6.5 Polarisasi

Polarisasi merupakan salah satu parameter antenna yang digambarkan sebagai arah vektor gelombang medan elektrik yang diradiasikan. Polarisasi juga dapat didefinisikan sebagai arah getaran gelombang radio atau dalam bahasa yang lebih tepat adalah arah medan elektrik gelombang radio yang dibangkitkan dari sebuah antenna. Polarisasi gelombang dapat didefinisikan sebagai pemancaran atau penerimaan gelombang oleh

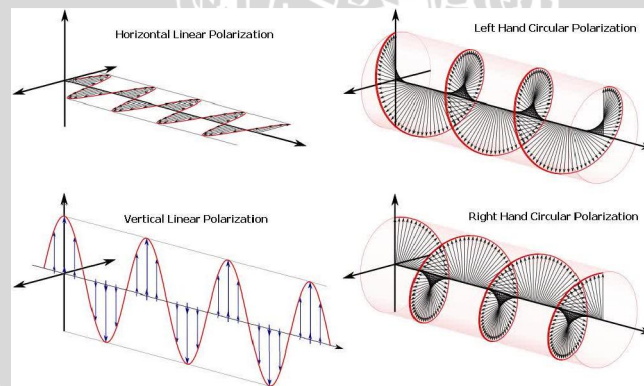
antena dalam arah tertentu. Polarisasi dapat dikelompokkan sebagai *linier*, *circular*, dan *elliptical*, seperti yang diberikan pada gambar 2.15.



**Gambar 2.15** Macam-macam bentuk polarisasi

Sumber: shakeeb 2010: 8

Pada umumnya gambaran medan listrik yang dipancarkan adalah berbentuk elips dan dapat dikatakan terpolarisasi secara elips. Polarisasi linier dan lingkaran merupakan bentuk khusus dari polarisasi elips. Pada gambar 2.16, medan listrik digambarkan searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam. Arah putar vektor medan listrik yang searah dengan jarum jam disebut sebagai *right-hand polarization* dan arah putar vektor medan listrik yang berlawanan dengan arah jarum jam disebut sebagai *left-hand polarization* (Balanis, 2005: 72).



**Gambar 2.16** Bentuk polarisasi linier dan sirkular

Sumber: www.arnoldsat.com

Sebuah gelombang yang berubah terhadap waktu dapat disebut terpolarisasi secara linier jika vektor yang menggambarkan medan listrik pada suatu titik dalam ruang sebagai

fungsi waktu selalu terarah sepanjang garis lurus yang sama pada setiap waktu. Kondisi ini dapat terjadi jika vektor medan listrik memenuhi syarat sebagai berikut:

- Memiliki satu komponen, atau
- Memiliki dua komponen tegak lurus secara linier yang sefasa atau berbeda fasa  $180^\circ$  (atau kelipatan  $180^\circ$ ).

Gelombang yang berubah terhadap waktu dapat disebut terpolarisasi lingkaran jika vektor medan listrik pada suatu titik digambarkan berupa bentuk lingkaran sebagai fungsi waktu. Kondisi ini terjadi jika vektor medan listrik memenuhi syarat sebagai berikut:

- Medan harus memiliki dua komponen yang tegak lurus.
- Kedua komponen tersebut harus memiliki besar (*magnitude*) yang sama.
- Kedua komponen tersebut harus memiliki perbedaan fasa sebesar kelipatan ganjil  $90^\circ$

Gelombang yang berubah terhadap waktu dapat disebut terpolarisasi elips jika puncak atau ujung vektor medan membentuk pola elips dalam ruang. Kondisi ini terjadi jika vektor medan listrik memenuhi syarat sebagai berikut:

- Medan harus memiliki dua komponen yang tegak lurus.
- Kedua komponen tersebut dapat memiliki besar yang sama atau berbeda.
- Jika kedua komponen tersebut memiliki besar yang berbeda, perbedaan fasa antar kedua komponen tersebut tidak boleh  $0^\circ$  atau kelipatan  $180^\circ$  (karena akan menjadi polarisasi linier).
- Jika kedua komponen tersebut memiliki besar yang sama, perbedaan fasa antar kedua komponen tersebut tidak boleh kelipatan ganjil  $90^\circ$  (karena akan menjadi polarisasi lingkaran).

### 2.6.6 Axial Ratio

Didefinisikan sebagai perbandingan antara sumbu mayor dan sumbu minor (Kumar dan Ray, 2003:310) seperti pada persamaan berikut

$$\text{Axial ratio} = \frac{\text{sumbu mayor}}{\text{sumbu minor}} \quad (2-22)$$

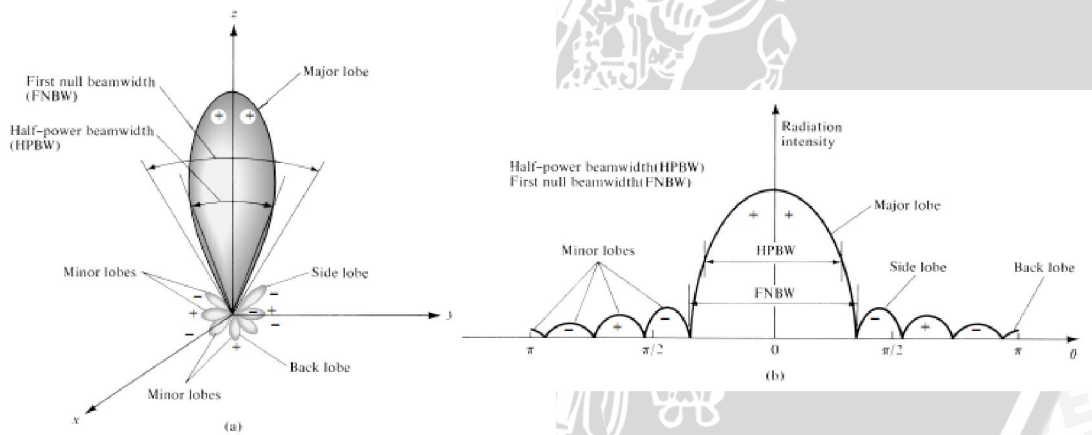
Axial ratio merupakan karakterisasi dari sebuah polarisasi (Kumar dan Ray, 2003:311), yaitu arah vector medan elektrik dari gelombang yang diradiasikan antenna (Punit, 2004:20). Nilai dari axial ratio dapat menunjukkan jenis polarisasinya. Jika nilai axial ratio sama dengan tak hingga maka polarisasi yang terjadi adalah polarisasi linier.

Jika nilai axial ratio sama dengan satu maka dipastikan bahwa polarisasi yang terjadi adalah polarisasi melingkar (Kumar dan Ray, 2003:311).

### 2.6.7 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. Bagian dari pola radiasi disebut dengan *lobe*, yang dapat diklasifikasikan kembali sebagai *major/main lobe*, *minor lobe*, *side lobe*, dan *back lobe* (Balanis 2005:27).

- Main lobe* : Bagian dari daerah radiasi dimana arah radiasi antenna maksimum
- Minor lobe* : Semua bagian *lobe* kecuali *main lobe*. *Minor lobe* menunjukkan arah radiasi yang tidak diinginkan.
- Back lobe* : Bagian dari *minor lobe* yang berlawanan  $180^\circ$  dengan *main lobe*
- Side lobe* : Bagian dari *minor lobe* yang bersebelahan dengan *main lobe*



**Gambar 2.17** Pola radiasi (a) *lobe* radiasi dan *beamwidth* dari pola antenna dan (b) gambaran secara linier pola radiasi

Sumber: Balanis, 2005

*Beamwidth* merupakan sudut pancaran yang memisahkan antara dua titik identik pada sisi yang berlawanan pada pola maksimum. Dalam pola radiasi antenna yang perlu diperhatikan adalah *Half Power Beamwidth (HPBW)* dengan definisi menurut IEEE adalah suatu bidang yang terdapat pada arah maksimum dari beam, sebuah sudut antara dua arah dimana intensitas radiasi adalah setengah dari nilai *beam*. Selain itu *beamwidth*

yang harus diperhatikan adalah *First Null Beamwidth (FNBW)*, yaitu sudut yang dilingkupi *main lobe*. (Balanis, 2005: 42)

Ukuran yang menyatakan berapa besar daya yang terkonsentrasi pada *main lobe* dibanding daya pada *side lobe* disebut dengan *Side Lobe Level (SLL)*, yang merupakan perbandingan besar puncak *side lobe* dengan puncak *main lobe*. Hal tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan (Stutzman, 1981: 29)

$$SLL = 20 \log \left| \frac{F(SLL)}{F(max)} \right| (dB) \quad (2-23)$$

dimana:

$F(SLL)$  = nilai maksimum *Side Lobe*

$F(max)$  = nilai maksimum *Main Lobe*

Nilai  $F/B$  suatu antenna merupakan perbandingan daya pada arah pancar terbesar yang dikehendaki (*main lobe*) dengan daya pada arah pancar yang berlawanan dengan *main lobe* (*back lobe*), sehingga nilai  $F/B$  adalah

$$\frac{F}{B} = \frac{P_m}{P_l} \quad (2-24)$$

dimana:

$\frac{F}{B}$  = *Front to Back ratio*

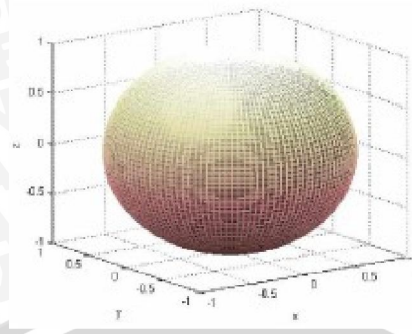
$P_m$  = daya puncak *main lobe*

$P_l$  = daya puncak *back lobe*

Pola radiasi antenna dibagi menjadi tiga jenis yaitu isotropis, *directional*, dan *omnidirectional*.

a. Isotropis

Pola radiasi isotropis berarti arah pancaran antenna ke berbagai arah dengan energi yang sama besar pada seluruh bidang. Dalam bentuk tiga dimensi, pola radiasinya menyerupai bola. Secara teoritis, antenna yang memiliki pola radiasi isotropis merupakan jenis antenna ideal dan dijadikan sebagai referensi dalam pengukuran antenna lain, tetapi tidak mungkin direalisasikan. Berikut gambar dari pola radiasi isotropis:

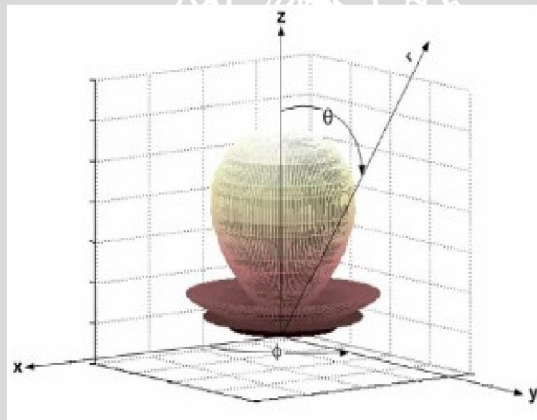


**Gambar 2.18** Pola Radiasi Isotropis

Sumber: <http://digilib.tes.telkomuniversity.ac.id/>

b. *Directional*

Pola radiasi *directional* berarti arah pancaran antenna ke satu arah. Antena dengan pola radiasi *directional* biasanya digunakan pada komunikasi *point to point*. Bentuk pola radiasi *directional* digambarkan pada gambar 2.19.

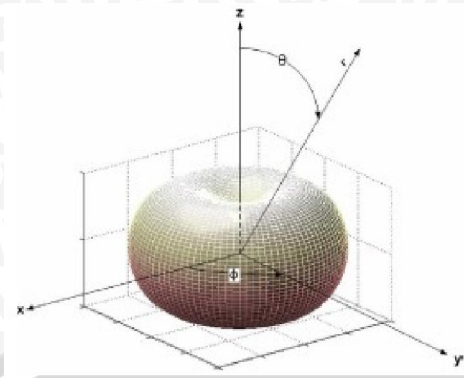


**Gambar 2.19** Pola Radiasi *Directional*

Sumber: <http://digilib.tes.telkomuniversity.ac.id/>

c. *Omnidirectional*

Pola radiasi *Omnidirectional* memiliki arah pancaran antenna ke berbagai arah dengan energi yang sama besar pada satu bidang. Pola radiasi *omnidirectional* dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.20 Pola Radiasi Omnidirectional

Sumber: <http://digilib.tes.telkomuni.ac.id/>

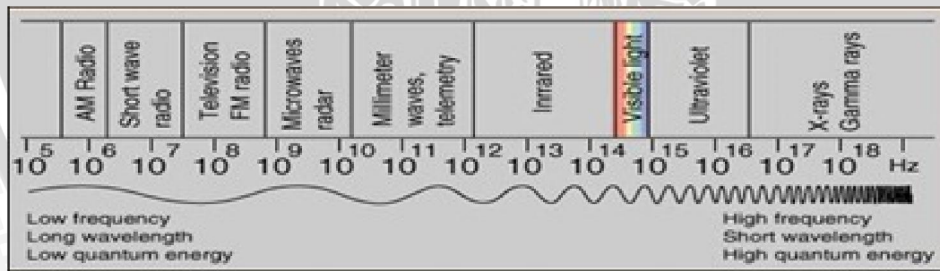
## 2.7 Spektrum Elektromagnetik

Spektrum elektromagnetik adalah gelombang yang mempunyai sifat listrik dan sifat magnet secara bersamaan. Gelombang radio merupakan bagian dari gelombang elektromagnetik pada spectrum frekuensi radio. Gelombang dikarakteristikan oleh panjang gelombang dan frekuensi. Panjang gelombang ( $\lambda$ ) memiliki hubungan dengan frekuensi ( $f$ ) dan kecepatan ( $v$ ) yang ditunjukkan pada persamaan (2.25) :

$$\lambda = \frac{v}{f} \tag{2.25}$$

Kecepatan ( $v$ ) bergantung pada medium. Ketika medium rambat adalah hampa udara (free space), maka :

$$v = c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$



Gambar 2.21 Spektrum gelombang elektromagnetik

Sumber: [hyperphysics.phy-astr.gsu.edu](http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu)

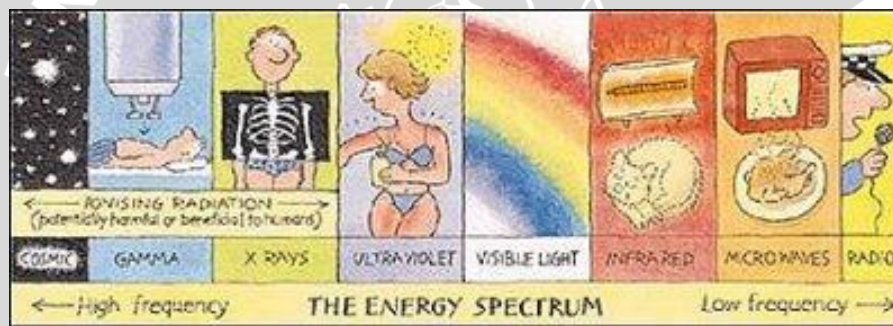
*Radio Frequency* (RF) mengarah kepada gelombang elektromagnetik yang mempunyai panjang gelombang yang biasa digunakan pada *radio communication*. Gelombang radio diklasifikasikan menurut frekuensinya, yang diukur dalam satuan Hertz. *Radio frequency* (RF) berkisar dari *Very Low Frequency* (VLF), yang berkisar

antara 10 sampai 30 KHz, hingga *Extremely High Frequency* (EHF), yang berkisar antara 30 sampai 300 GHz (Medianata, 2008: 5).

Frekuensi yang terpancar dari sebuah perangkat berkorelasi terhadap daya yang dimasukkan, dan spektrum frekuensi terbagi menjadi dua jenis berdasarkan radiasinya. Mengutip dari laman resmi WHO, keduanya adalah *ionizing radiation* dan *non-ionizing radiation*.

### 2.7.1 Ionizing Radiation

*Ionizing radiation* adalah sebuah radiasi yang dapat menyebabkan struktur atom dapat menghilangkan atau terionisasi dari inti secara langsung dalam rentang waktu yang cukup. Jenis *ionizing radiation* terbagi menjadi dua bentuk, yakni gelombang dan partikel. Bentuk umum dari *ionizing radiation* diantaranya adalah kosmik, gamma, *x-ray*, *ultraviolet*.



Gambar 2.22 Spektrum gelombang EM menurut jenis radiasi

Sumber: WHO *annual report*

Pada bentuk gelombang disebut sebagai radiasi elektromagnetik yang berisi oleh foton dalam satu siklus gelombang. Foton merupakan sebuah paket energi yang dapat berpindah dengan kecepatan 300,000km/s pada ruang vakum. Sehingga paparan jenis radiasi ini dibatasi pada tubuh.

### 2.7.2 Non-Ionizing Radiation

*Non-ionizing radiation* adalah bentuk lain pengelompokan bentuk radiasi dari spectrum elektromagnetik di mana tidak mempunyai cukup energi untuk melakukan ionisasi atau perubahan pada struktur selular. Bentuk dari non-ionizing radiation seperti gelombang radio, medan magnet, gelombang mikro, infra merah, dan cahaya tampak.



### 2.7.3 Efek Radiasi Spektrum Elektromagnetik

Berkembangnya aplikasi pada radio frekuensi dan gelombang mikro, telah memunculkan kekhawatiran akan adanya efek samping yang timbul pada sisi kesehatan manusia. Spektrum elektromagnetik untuk RF dan WiFi dimasukkan oleh WHO dalam kategori *non-ionizing radiation*.

Sebuah jurnal *update* yang berisi publikasi penelitian antara tahun 2006-2014 menganalisis laporan terhadap efek samping dari gelombang elektromagnetik *non-ionizing*. Analisis yang dilakukan pada publikasi penelitian tersebut menunjukkan dampak terhadap faktor genetik lebih banyak daripada yang mengatakan tidak mempunyai pengaruh. Setidaknya ada sejumlah penelitian dengan hasil RFR-pengaruh efek genetik = 74 publikasi (65%), tidak ada efek genetik = 40 publikasi (35%); dan ELF-pengaruh efek genetik = 49 (83%), tidak ada efek genetik = 10 (17%). Representasi RFR = *radio frequency*, dan ELF = *extremely-low frequency*. (Lai, Prof. Henry, 2014).

Sebuah studi menyatakan terdapat perubahan genetik pada objek ragi akibat paparan radiasi gelombang *non-ionizing* pada frekuensi 2.4 GHz. (Gromozova, Elena. dkk, 2016).

Studi lain melakukan uji pada tikus jenis fischer yang diberikan paparan terhadap radiasi gelombang selama 30 hari pada 3 frekuensi yang berbeda: 900, 1800, dan 2450 MHz. Uji tersebut dilakukan dalam 4 kondisi yang berbeda: Kondisi 1: tikus tidak mendapat paparan gelombang EM namun tetap diperlakukan sama, Kondisi 2: tikus diberikan paparan gelombang EM pada frekuensi 900 MHz mendapatkan nilai *specific absorption rate (SAR)*  $5.953 \times 10^{-4}$  W/kg, Kondisi 3: tikus diberikan paparan gelombang EM pada frekuensi 1800 MHz mendapatkan nilai *specific absorption rate (SAR)*  $5.835 \times 10^{-4}$  W/kg, Kondisi 4: diberikan paparan gelombang EM pada frekuensi 2450 MHz mendapatkan nilai *specific absorption rate (SAR)*  $6.672 \times 10^{-4}$  W/kg. Pada akhir percobaan, tikus dikorbankan untuk diuji coba adanya kerusakan DNA pada jaringan otak. Diperoleh hasil meskipun dengan paparan gelombang SAR bernilai kecil, namun pada frekuensi tersebut telah dapat menyebabkan perubahan DNA pada jaringan otak. (Deshmukh, PS. Dkk, 2013)

### 2.7.4 Sifat Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Sifat gelombang elektromagnetik ketika menabrak suatu material, maka gelombang yang dipancarkan dapat mengalami peredaman. Sebagian energi sinyal diserap atau berubah menjadi bentuk lain dan tetap berpropagasi. Besaran pelemahan daya sinyal yang terjadi tergantung dari jenis bahan material penghalang.

Secara umum, sifat dari gelombang elektromagnetik diantaranya:

a. Absorbsi

Pada saat gelombang elektromagnetik menabrak suatu material, daya pancar dari gelombang akan teredam. Daya yang hilang bergantung pada besaran frekuensi dan material penghalang. Pada sebuah kasus menunjukkan bahwa gelombang radio akan menyebabkan molekul air berputar dan bergetar akibat radiasi panas yang terjadi. Hal ini tentu saja bergantung pada jumlah air yang ada pada titik paparan.

b. Interferensi

Interferensi adalah interaksi antar gelombang di dalam suatu daerah. Interferensi dapat bersifat membangun atau merusak. Dikatakan bersifat membangun jika gelombang terjadinya beda fasa kedua gelombang adalah sama dengan nol, sehingga gelombang baru yang terbentuk adalah penjumlahan antara dua buah gelombang. Sedangkan dikatakan merusak jika beda fasa antar keduanya bernilai  $180^\circ$ , sehingga kedua gelombang saling meniadakan.

c. Refleksi

Refleksi adalah terjadinya pemantulan gelombang elektromagnetik dari permukaan dan kemudian kembali ke sumbernya. Gelombang refleksi terjadi pada satu buah gelombang yang merambat pada suatu media sampai di bidang batas antara media, sehingga terjadi perpindahan diantara dua buah medium yang berbeda.

d. Difraksi

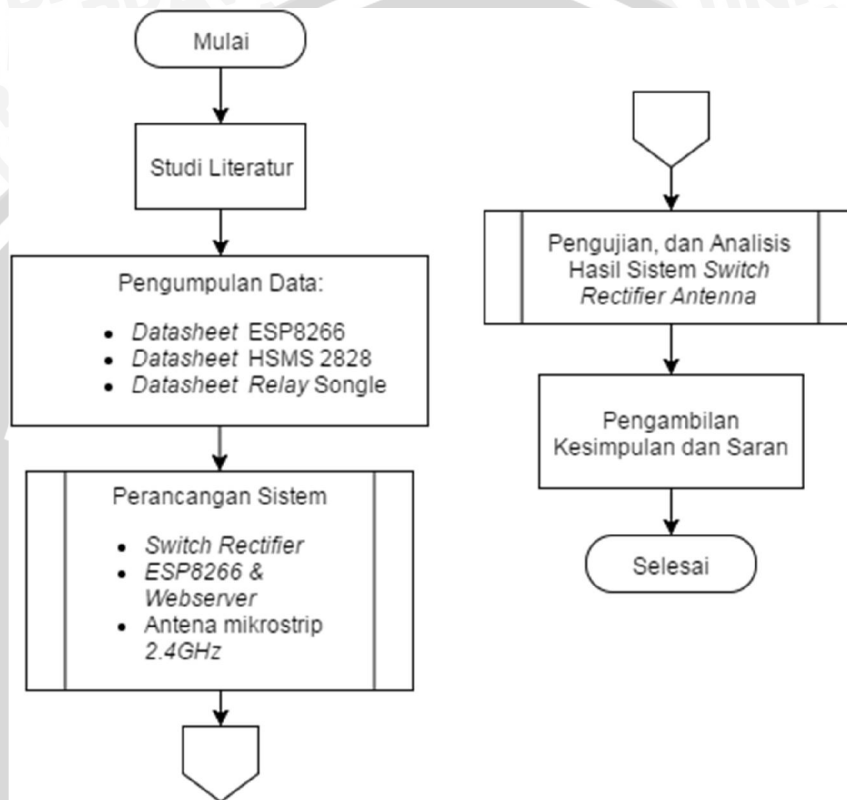
Difraksi adalah proses berjalannya gelombang dari lubang kecil dan menyebar keluar. Gelombang yang merambat keluar karakteristik kecepatannya mengikuti medium luarnya.

e. Refraksi

Refraksi adalah peristiwa pembelokan arah perambatan suatu gelombang elektromagnetik. Hal ini dapat terjadi jika gelombang tersebut melewati bidang batas dua medium yang memiliki indeks bias yang berbeda.

### BAB III METODE PENELITIAN

Secara umum, kajian yang digunakan dalam skripsi ini adalah kajian yang bersifat perancangan dan analisis hasil pada antenna mikrostrip, ESP8266, *relay* dan *rectifier* yang bekerja pada frekuensi 2.4 GHz. Metodologi yang digunakan adalah sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram alir metode penelitian

Sumber: Perancangan

#### 3.1. Studi Literatur

Melakukan kajian pustaka untuk memahami analisis perancangan sistem *switch rectifier* yang dapat dinonaktifkan atau dinyalakan kembali dengan melakukan akses ke *webserver* dan antenna mikrostrip yang bekerja pada frekuensi 2400 MHz.

#### 3.2. Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan pada penyusunan skripsi ini adalah berupa data primer dan data sekunder.

- a. Data Primer

Data primer adalah data-data yang diperoleh secara langsung dari hasil simulasi antenna mikrostrip berpolarisasi CP menggunakan *software* CST Studio Suite 2014, pengukuran antenna fabrikasi dengan parameter *return loss*, pengukuran *rectifier*, pengukuran *switch rectifier*, perancangan *switch rectifier* menggunakan *webserver*, dan analisis hasil pengukuran sistem secara keseluruhan.

b. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data-data yang diperoleh dari studi literatur (buku, jurnal, atau internet). Data sekunder yang diperlukan dalam kajian ini adalah:

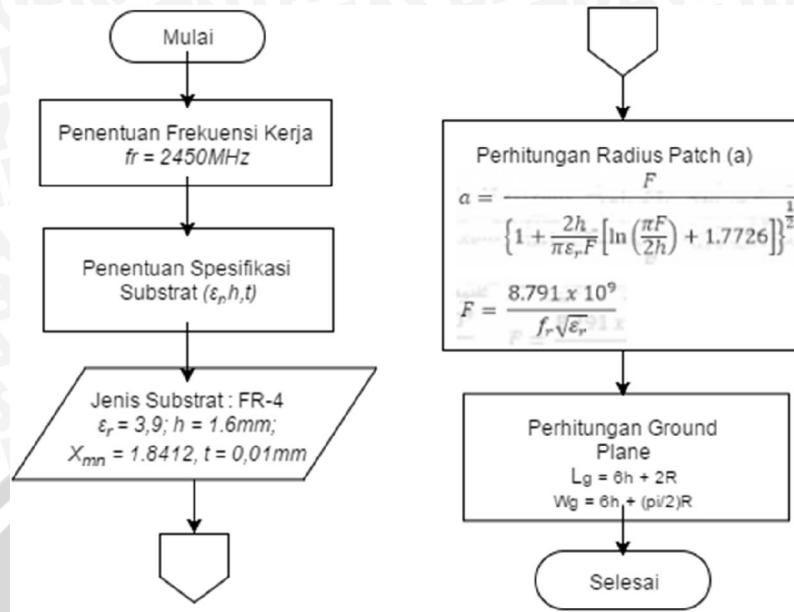
- Spesifikasi antenna, yang meliputi:
  - Bahan epoxy fiberglass – FR4.
    - Konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) = 3.9
    - Ketebalan dielektrik ( $h$ ) = 0.0016 m = 1.6 mm
    - Loss tangen ( $\tan \delta$ ) = 0,018
  - Spesifikasi bahan konduktor antenna, yang meliputi:
    - Ketebalan bahan konduktor ( $t$ ) = 0,00001 m = 0,01 mm
    - Konduktivitas tembaga ( $\sigma$ ) =  $5,8 \times 10^7$  mho  $m^{-1}$

### 3.3. Perancangan Sistem *Switch Rectifier Antenna*

Perancangan sistem *switch rectifier antenna* terbagi menjadi 3 pembahasan yang berbeda, diantaranya:

#### 3.3.1 Perancangan Antena Mikrostrip

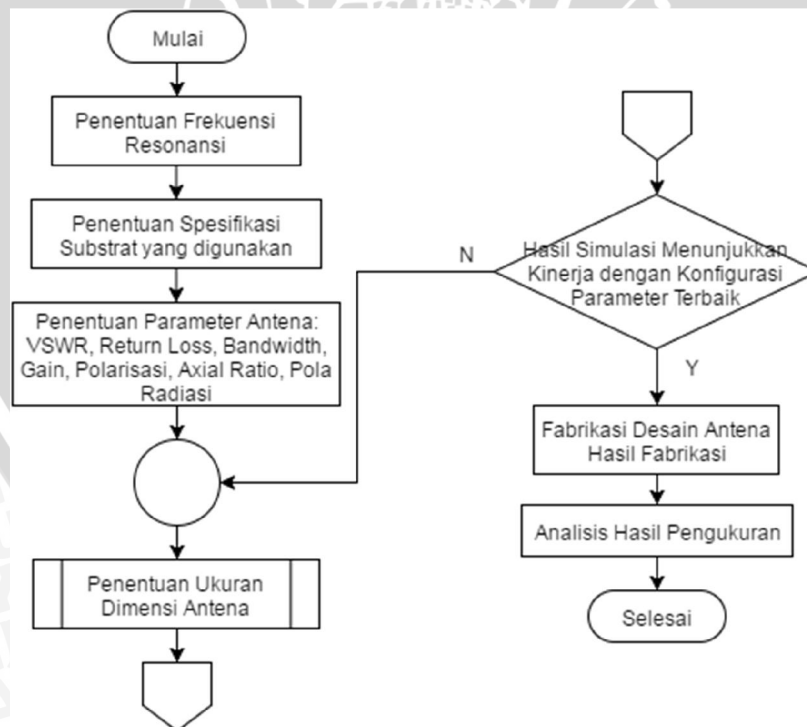
Perancangan dimensi antena mikrostrip dilakukan berdasarkan literatur dengan menggunakan rumus yang telah ada. Rumus untuk melakukan perhitungan dapat dilihat pada gambar 3.2, kemudian dirancang dan dioptimasi menggunakan *software* CST Studio Suite 2014.



**Gambar 3.2** Diagram alir perhitungan dimensi antenna mikrostrip

Sumber: Perancangan

Antena dalam penelitian ini difokuskan untuk bekerja pada frekuensi 2400 MHz dengan polarisasi sirkular dan mempunyai gain minimal 8 dB. Adapun diagram alir untuk melakukan perancangan dapat dilihat pada gambar 3.3.

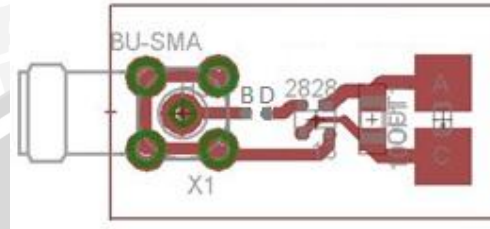


**Gambar 3.3** Diagram alir perancangan dan fabrikasi antenna

Sumber: Perancangan

### 3.3.2 Perancangan *Switch Rectifier*

Perancangan *switch rectifier* dilakukan menggunakan *software eagle 7.0* dengan didasarkan pada referensi yang diperoleh dari literatur. Hasil perancangan kemudian difabrikasi dan diukur secara langsung menggunakan *multimeter*. *Routing* perancangan *switch rectifier* dapat dilihat pada gambar 3.4.

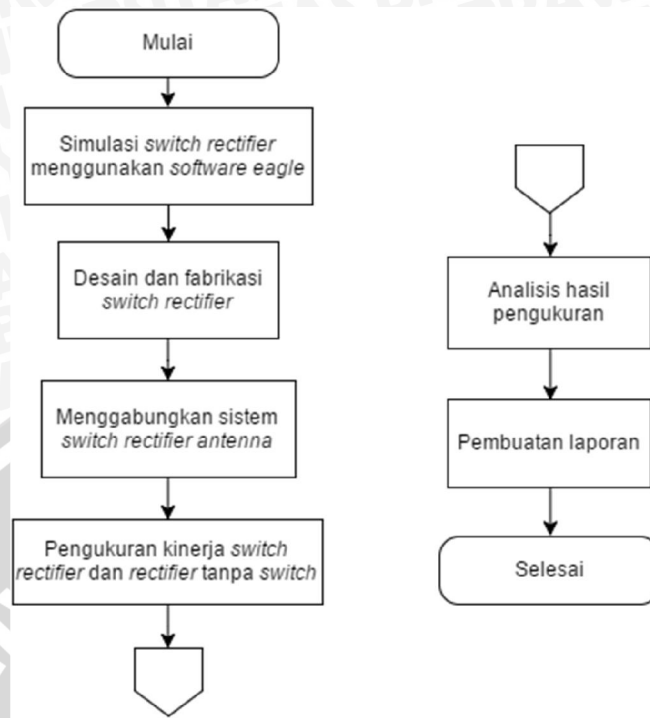


**Gambar 3.4** *Routing switch rectifier*

Sumber: Perancangan

Dalam rangkaian, dapat terlihat eksitasi sinyal masuk melalui BU-SMA yang merupakan *port* tersambung dengan antena. Sinyal yang masuk dilewatkan terlebih dahulu kepada titik B yang terputus. Titik B yang terputus dihubungkan pada *relay* dengan kaki NO (*normally open*). Jika *switch* mendapatkan perintah dari *webserver* untuk aktif, maka sinyal diteruskan dari *port* menuju ke *relay* dan masuk ke titik D dan diteruskan ke dioda HSMS 2828 untuk dilakukan proses penyearah dari AC menjadi DC. Sinyal yang telah diproses menjadi tegangan DC kemudian dilewatkan terlebih dahulu ke kapasitor untuk menghilangkan *ripple*. Setelahnya tegangan DC diukur menggunakan *multimeter*.

Berikut merupakan diagram alir perancangan *switch rectifier* yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 3.5.

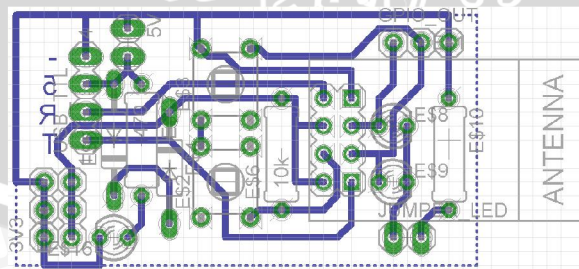


Gambar 3.5 Diagram alir perancangan *switch rectifier*

Sumber: Perancangan

### 3.3.3 Perancangan ESP8266 & Webserver

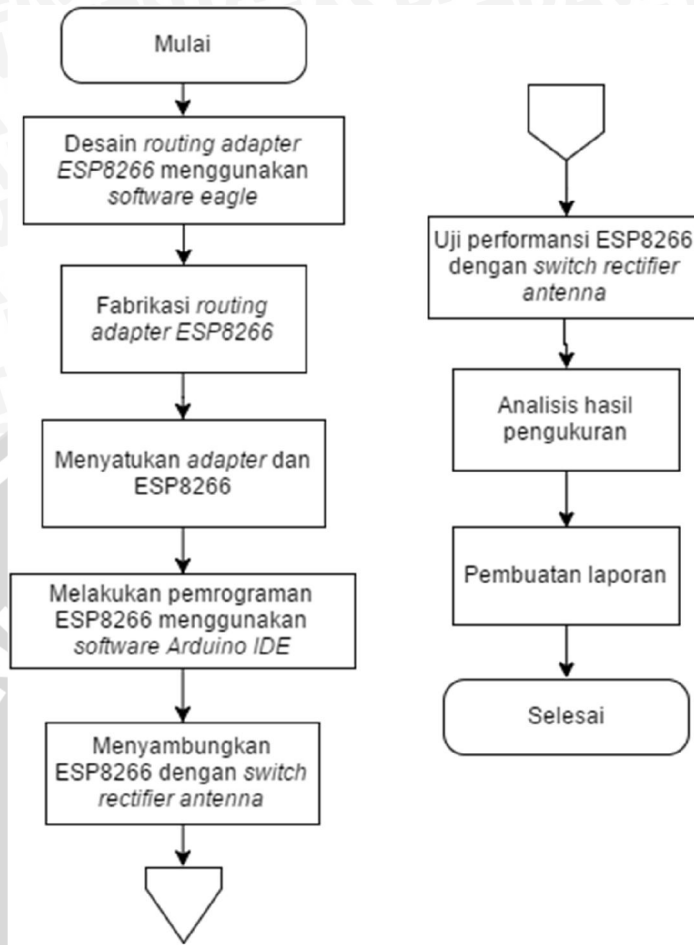
Perancangan *adapter* ESP8266 dilakukan menggunakan *software eagle 7.0* dan pemrograman dilakukan menggunakan *software Arduino IDE* dengan didasarkan pada referensi yang diperoleh dari literatur. Hasil perancangan pada *software eagle* kemudian difabrikasi dan dirangkai pada modul ESP8266. Pemrograman yang dilakukan pada ESP8266 diuji coba dengan menggunakan akses *router* WiFi dalam satu jaringan yang sama. *Routing* perancangan *adapter* ESP8266 dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 *Routing adapter* modul ESP8266

Sumber: Perancangan

Berikut merupakan diagram alir perancangan ESP8266 & *webserver* yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Diagram alir perancangan ESP8266 & Webservice

Sumber: Perancangan

### 3.4. Pengambilan Kesimpulan

Setelah mendapatkan hasil analisis dan perhitungan, maka langkah berikutnya yang dilakukan adalah pengambilan kesimpulan dan pemberian saran. Penarikan kesimpulan diambil berdasarkan teori yang dipakai dan analisis hasil yang didapatkan. Saran dibuat berdasarkan kesulitan yang dialami selama penelitian dan hal-hal lain yang sekiranya perlu di kaji lebih dalam.



## BAB IV

### PERANCANGAN *SWITCH RECTIFIER ANTENNA*

#### 4.1. Tinjauan Umum

Skripsi ini melakukan perancangan sistem *switch rectifier antenna* dengan menjadikannya lebih efisien dengan meminimalkan campur tangan manusia secara langsung. Kelebihan dari pengajuan rancangan ini adalah kemudahan pada penonaktifan dan pengaktifan kembali *rectifier* jika sewaktu-waktu dipergunakan. Meskipun yang dirancang sejatinya berada dalam jaringan lokal, namun dengan melakukan konfigurasi lebih lanjut dapat menjadikan rancangan ini menjadi lebih luas seperti aplikasi IoT (*Internet of Things*). Selain itu, kekhawatiran akan terganggunya sinyal utama pancaran pengirim dapat diminimalisir karena penggunaan *rectifier* yang dapat diatur sesuai dengan kegunaan pengguna.

#### 4.2. Perancangan Antena Mikrostrip

##### 4.2.1 Spesifikasi Substrat dan Bahan Konduktor

Perancangan antena mikrostrip diawali dengan pemilihan substrat sebagai bahan dasar pembuatan antena. Terdapat beberapa macam substrat yang dapat digunakan dalam pembuatan antena mikrostrip, konstanta dielektrik substrat tersebut biasanya pada  $range$   $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$ . Substrat yang tebal dan memiliki konstanta dielektrik yang rendah akan menghasilkan efisiensi yang lebih bagus, *bandwidth* yang lebar, dan sebagainya (Balanis, 2005: 812). Dalam perancangan antena mikrostrip perlu diketahui terlebih dahulu mengenai substrat yang akan digunakan. Bahan substrat yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Bahan *Epoxy* – FR 4
 

Konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ )	= 3.9
Ketebalan lapisan dielektrik ( $h$ )	= 0.0016 m = 1.6 mm
<i>Loss tangent</i>	= 0.018
- Bahan pelapis substrat (konduktor) tembaga
 

Ketebalan bahan konduktor ( $t$ )	= 0.0001 m = 0.1 mm
Konduktifitas tembaga ( $\sigma$ )	= $5.80 \times 10^7$ mho $m^{-1}$

#### 4.2.2 Perencanaan Dimensi Elemen Peradiasi

Sebelum menentukan dimensi elemen peradiasi, maka terlebih dahulu harus ditentukan frekuensi resonansi ( $f_r$ ) yang digunakan. Frekuensi resonansi pada antena *ultra wideband* merupakan frekuensi tengahnya yaitu 2400 MHz, dan nilai perambatan di ruang bebas ( $c$ ) sebesar  $3 \times 10^8$  m/s. Dengan menggunakan persamaan:

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_r}$$

$$\lambda_0 = \frac{3 \times 10^8}{2,4 \times 10^9} = 0,125 \text{ m} = 125 \text{ mm}$$

Setelah nilai  $\lambda_0$  diperoleh, maka panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip dapat dihitung dengan persamaan:

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$\lambda_d = \frac{125}{\sqrt{3,9}} = 0,0633 \text{ m}$$

Konstanta dielektrik material  $\epsilon_r$  mempengaruhi bagaimana gelombang elektromagnetik bergerak melalui sebuah materi. Nilai tinggi dari konstanta dielektrik membuat jarak dalam material terlihat lebih besar. Ini berarti bahwa perambatan cahaya lebih lambat. Hal ini juga mempengaruhi perilaku gelombang ketika melewati sebuah materi dimana gelombang berperilaku seolah-olah sinyal memiliki panjang gelombang  $\lambda_d$  lebih pendek.

#### 4.2.3 Perencanaan Dimensi *Circular Patch*

Untuk menentukan radius elemen peradiasi antena mikrostrip *circular patch* diperoleh dengan menggunakan persamaan:

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

Terlebih dahulu dilakukan penghitungan fungsi logaritmik  $F$ . Dengan  $f_r = 2400$  MHz; ( $\epsilon_r$ ) = 3,9, maka nilai fungsi logaritmik  $F$  dapat dihitung dengan persamaan:

$$F = \frac{8,791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{8,791 \times 10^9}{2,400 \times 10^9 \sqrt{3,9}} \\
 &= 1,855
 \end{aligned}$$

Maka besar radius elemen peradiasi ( $a$ ) untuk frekuensi 2400 MHz adalah

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{F}{\left\{1 + \frac{2 \times 1,6 \times 10^{-3}}{3,14 \times 3,9 \times 2,400} \times \left[\ln\left(\frac{3,14 \times 2,400}{2 \times 1,6 \times 10^{-3}}\right) + 1,7726\right]\right\}^{1/2}} \\
 &= 1,7968 \text{ cm} = 17,968 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### 4.2.4 Perencanaan Dimensi *Ground Plane*

Untuk menghitung panjang dan lebar minimal *ground plane*, masing-masing didapatkan dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned}
 L_g &= 6h + 2R = (6 \times 1,6 \times 10^{-3}) + (2 \times 17,968 \times 10^{-3}) \\
 &= 45,74 \times 10^{-3} \text{ m} = 45,74 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_g &= 6h + \frac{\pi}{2}R = (6 \times 1,6 \times 10^{-3}) + \left(\frac{\pi}{2} \times 17,968 \times 10^{-3}\right) \\
 &= 38,035 \times 10^{-3} \text{ m} = 38,035 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan nilai dimensi *ground plane* minimal yaitu 45,74 mm × 38,035 mm.

#### 4.2.5 Perencanaan Dimensi Saluran Transmisi

Untuk menghitung dimensi saluran transmisi menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned}
 B &= \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \\
 &= \frac{60 \times 3,14^2}{50 \sqrt{3,9}} = 5,9911
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan lebar saluran menggunakan persamaan berikut:

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

$$\begin{aligned}
&= \frac{2 \times 1.6}{3,14} \left\{ 5,9911 - 1 - \ln + \frac{3,9 - 1}{2 \times 3,9} \left[ \ln(5,9911 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{3,9} \right] \right\} \\
&= 1,0191 \{ 4,9911 - \ln(10,9822) + 0,3717 [\ln(4,9911) + 0,2335] \} \\
&= 1,0191 \{ 4,9911 - 2,3962 + 0,3717 [1,6076 + 0,2335] \} \\
&= 1,0191 (2,5949 + 0,3717 [1,8411]) \\
&= 1,0191 (2,5949 + 0,6843) \\
&= 3,3418 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Sedangkan untuk panjang dari saluran transmisi mikrostrip dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$L = \frac{1}{4} \lambda_d$$

$$L = \frac{1}{4} 0,07 \text{ m} = 0,0175 \text{ m} = 17.5 \text{ mm}$$

#### 4.2.6 Simulasi Antena Mikrostrip

Perancangan antena mikrostrip dilakukan secara matematis berdasarkan pada materi dan referensi yang diperoleh dari hasil studi literatur. Hasil rancangan kemudian disimulasikan menggunakan simulator *CST Microwave Studio 2014* untuk mengetahui parameter antena. Tahap perancangan dan simulasi antena ini penting untuk melihat kualifikasi dari hasil rancangan apakah sudah sesuai atau belum dengan yang direncanakan sebelum dilakukan fabrikasi.

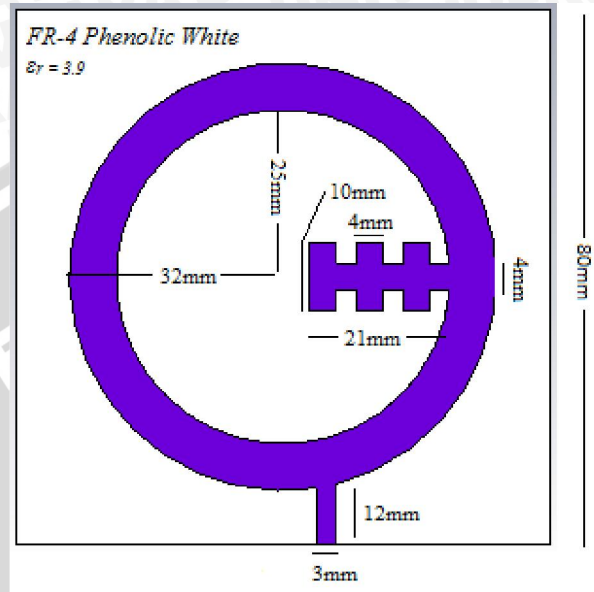
Langkah-langkah perancangan dan simulasi dengan *CST Microwave Studio 2011* adalah sebagai berikut (secara detail dilampirkan):

1. Membuka program *simulator CST Microwave Studio 2014*.
2. Menentukan parameter dasar
3. Membuat antena mikrostrip sesuai dimensi perencanaan
4. Melakukan simulasi pada rentang frekuensi yang diinginkan
5. Melakukan tabulasi parameter hasil simulasi sebelum dilakukan analisis.

#### 4.2.7 Simulasi Bentuk Akhir Antena Mikrostrip

Setelah mendapatkan dimensi *patch*, *ground plane*, slot, dan saluran transmisi, kemudian dilakukan proses simulasi untuk mengetahui performansi antena. Simulasi

dilakukan dengan menggunakan simulator *CST Microwave Studio 2014*. Dalam proses simulasi ini parameter awal yang diamati adalah *Return Loss* untuk mengetahui *kematchingan* antenna. Berikut ini adalah dimensi *antena berdasarkan dari perhitungan dan hasil studi literatur*.

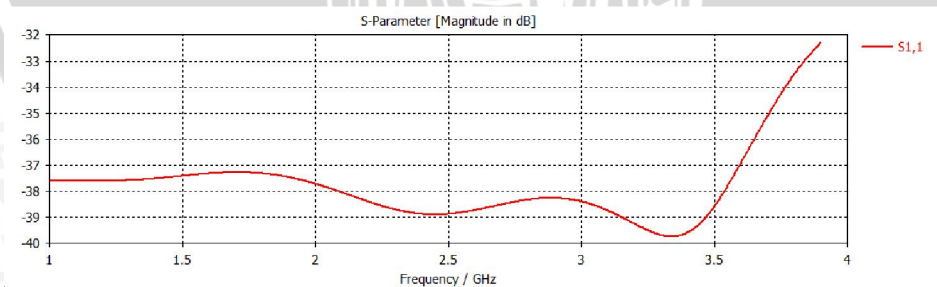


**Gambar 4.1** Bentuk akhir geometri antenna mikrostrip  
Sumber: Simulasi Perancangan

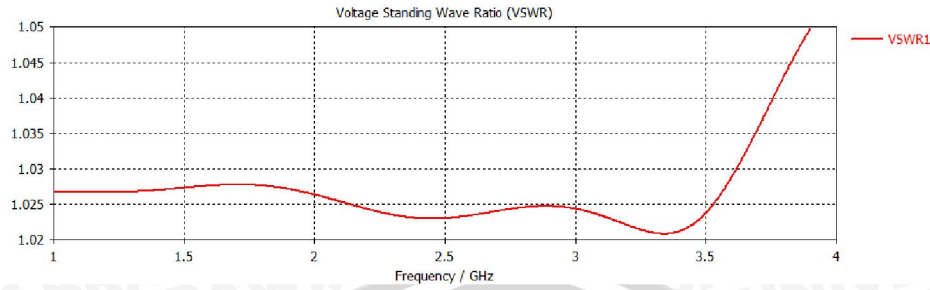
#### 4.2.8 Hasil Simulasi Antena Mikrostrip

Berdasarkan perancangan pada simulasi yang telah dilakukan, kemudian dilakukan analisis hasil pada parameter antenna.

##### a. VSWR dan *Return Loss*



**Gambar 4.2** Grafik *Return Loss* terhadap frekuensi  
Sumber: Hasil Simulasi Perancangan

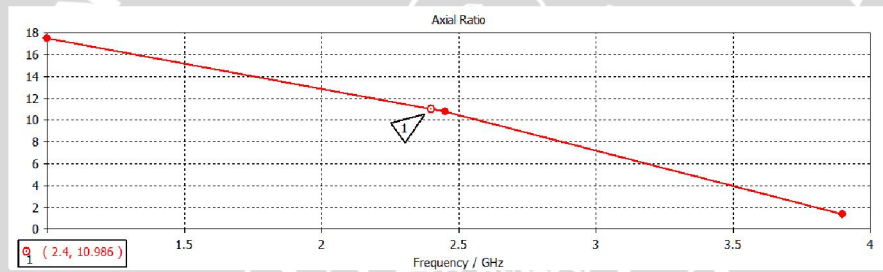


**Gambar 4.3** Grafik *VSWR* terhadap frekuensi

Sumber: Hasil Simulasi Perancangan

Hasil simulasi dengan parameter *VSWR* dan *Return Loss* dari antenna mikrostrip telah memenuhi perencanaan antenna dengan nilai *VSWR* di bawah 2 pada frekuensi 2400 MHz. Serta nilai *Return Loss* di bawah -10 dB pada frekuensi 2400 MHz.

b. *Axial Ratio*

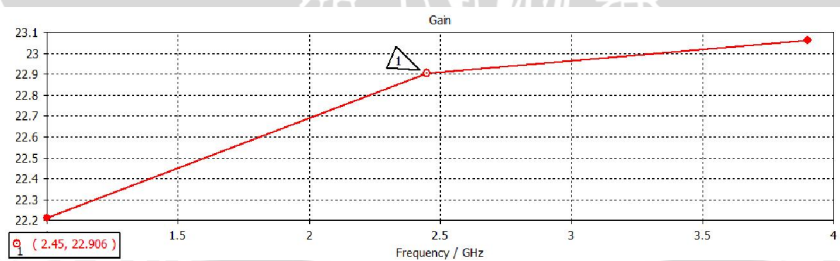


**Gambar 4.4** Grafik *Axial Ratio* terhadap frekuensi

Sumber: Hasil Simulasi Perancangan

Hasil simulasi menunjukkan bahwa antenna mikrostrip berpolarisasi linier dengan hasil nilai AR sebesar 10.986.

c. *Gain*



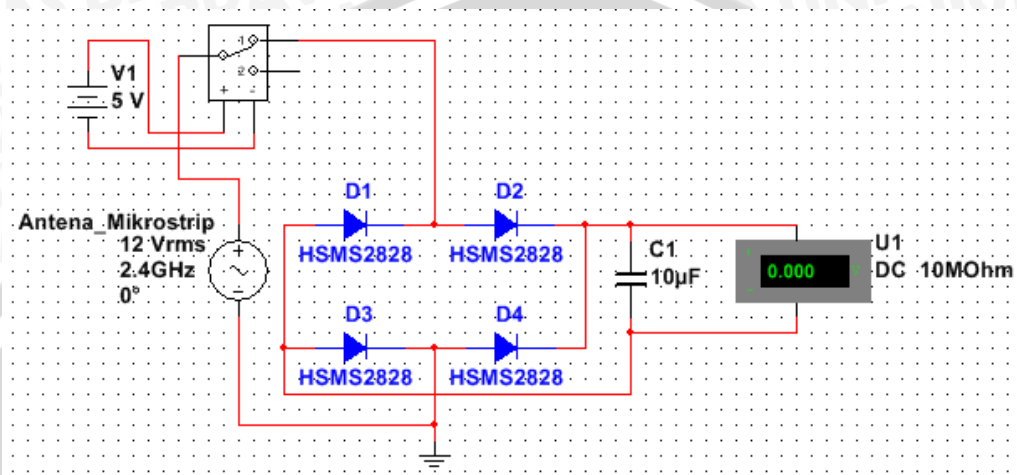
**Gambar 4.5** Grafik *Gain* terhadap frekuensi

Sumber: Hasil Simulasi Perancangan

Nilai *gain* dari simulasi yang telah dilakukan untuk antenna yang diajukan pada frekuensi 2400 MHz bernilai 22.906 dB.

### 4.3 Perancangan *Switch Rectifier*

*Switch* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan *relay* yang harus dicatu tegangan 5VDC dengan seri Sngle SRD-5VDC yang pada titik NC terhubung dengan *rectifier* dengan konfigurasi *full wave rectifier* dan titik CO terhubung pada *node* positif antenna. Terlihat pada gambar 4.6 adalah bentuk simulasi dari rangkaian *relay* yang terhubung dengan *rectifier*.



Gambar 4.6 Rangkaian *full bridge rectifier* yang tersambung dengan *relay*

Sumber: Perancangan

Seperti yang telah dijelaskan pada sub bab 2.3.1 mengenai *rectifier*, bahwa perancangan ini menggunakan filter untuk memurnikan nilai keluaran tegangan pada diode schottky. Besaran nilai filter yang dalam hal ini adalah kapasitor didapatkan berdasarkan perhitungan matematis:

$$C = \frac{I}{2 * f * V_{ripple}}$$

Sehingga didapatkan nilai minimal *capacitor* adalah 0,00000208 F atau 2,08 uF, dan karena penentuan nilai kapasitor itu nantinya mempengaruhi dari hasil *ripple* keluaran tegangan. Jika menggunakan kapasitor yang bernilai lebih kecil dari nilai optimumnya, maka tegangan *ripple* akan lebih besar dan DC murni tidak tercapai, sedangkan untuk penggunaan kapasitor yang bernilai lebih besar akan memperkecil nilai tegangan *ripple* sehingga DC murni dapat tercapai. Mengacu pada hal dasar tersebut, maka diputuskan untuk mengambil nilai kapasitor yang lebih besar yakni 10uF pada rangkaian.

Gambar 4.6 menunjukkan nilai simulasi 4 dioda, meski yang dipergunakan dalam perancangan hanya ada satu dioda mengacu pada gambar 2.7 bahwa dalam satu komponen HSMS 2828 telah terdapat 4 dioda yang terpasang secara *bridge*. Sehingga

penggunaan lebih dari 1 buah dioda HSMS 2828 pada rangkaian dapat dikatakan pemborosan karena rangkaian telah membentuk *full wave rectifier* dengan hanya satu buah diode yang dimaksud.

Berikut list komponen yang digunakan pada perancangan *switch rectifier antenna*.

- Port SMA *female*
- 1 x HSMS 2828
- 1 x C1206 10 uF
- PCB cetak

#### 4.4 Perancangan ESP8266

Aplikasi ESP8266 merupakan modul yang memudahkan konfigurasi dari sisi *hardware* karena telah tertanam *controller* dan *firmware* sebesar 80MHz sehingga secara umum hanya diperlukan pemrograman bahasa Java pada *software* Arduino IDE.

#### 4.5 Impedansi Pada Antena

Antena mikrostrip yang telah dirancang dengan menggunakan simulasi dari software CST menunjukkan impedansi yang bernilai 57.4  $\Omega$ , sedangkan port SMA sebagai titik catu bernilai 50  $\Omega$ . Jika keduanya tersambung, maka dengan perhitungan matematis sederhana, didapatkan impedansi pada antena adalah sebagai berikut,

$$Z_{sumber} = \frac{Z_{antena} + Z_{port}}{n}$$

$$Z_{sumber} = \frac{57.4 \Omega + 50 \Omega}{2}$$

$$Z_{sumber} = 53.7 \Omega$$

Mengacu pada sub bab 2.5, maka diperlukan perhitungan untuk membuat penyesuai impedansi yang diletakkan diantara antena mikrostrip dengan *rectifier* supaya menghasilkan impedansi yang sesuai yakni 50  $\Omega$ . Perhitungan matematis untuk mendapatkan nilai impedansi penyesuai adalah sebagai berikut,

$$Z_0 = \sqrt{Z_{sumber} * Z_{rectenna}}$$

$$Z_0 = \sqrt{53.7 \Omega * 50 \Omega}$$

$$Z_0 = 51.816 \Omega$$



## BAB V

### ANALISIS HASIL PERANCANGAN SWITCH RECTIFIER ANTENNA

#### 5.1. Tinjauan Umum

Dari hasil keseluruhan proses perancangan, kemudian dilakukan fabrikasi, dan melakukan analisis hasil performansi perancangan yang telah dilakukan. Karena perancangan yang penulis anggap telah membentuk sebuah sistem, maka analisis dibagi menjadi tiga bagian, yakni (1) analisis hasil antena mikrostrip, (2) analisis hasil *rectifier*, dan (3) analisis hasil *switch* menggunakan akses *webservice*.

Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mendapatkan data-data karakteristik yang telah dibuat dan kinerja secara aplikatif. Pengukuran untuk perancangan yang telah terlaksana dilakukan di Laboratorium Saluran Transmisi dan Gelombang Mikro Universitas Brawijaya. Pengukuran yang dilakukan meliputi untuk ketiga bagian diatas adalah sebagai berikut:

a) Analisis antena mikrostrip

Pengukuran *return loss*/perhitungan koefisien pantul dan VSWR.

b) Analisis *rectifier*

Pengukuran dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran dari *rectifier* dengan menggunakan *switch* dan tanpa pengaruh *switch*.

c) Analisis *webservice*

Pengukuran dilakukan dengan menghubungkan ESP8266 kedalam satu jaringan lokal yakni *router* WiFi dan mengakses *switch* menggunakan protokol IP melalui perangkat lain seperti handphone atau laptop.

#### 5.2. Pengukuran Antena Mikrostrip

##### 5.2.1 Alat-Alat yang Digunakan

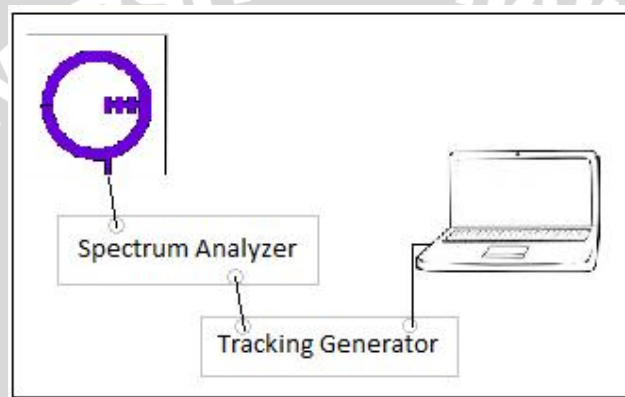
Alat-alat yang digunakan dalam pengukuran *return loss* yaitu:

1. Signal Hound *Spectrum Analyzer*
2. Signal Hound *Tracking Generator*
3. Antena uji
4. Reverse port SMA

##### 5.2.2 Prosedur Pengukuran

Prosedur dalam pengukuran *return loss* adalah sebagai berikut:

1. Menyalakan alat ukur signal hound *spectrum analyzer* yang telah terhubung dengan *tracking generator* melalui *joint circuit*.
2. Menghubungkan *tracking generator* dan *spectrum analyzer* ke laptop menggunakan kabel USB.
3. Menghubungkan reverse port SMA dari antenna uji ke *joint circuit*.
4. Melakukan kalibrasi pada *spectrum analyzer*.
5. Mengatur rentang frekuensi uji *spectrum analyzer* pada 2000 - 2700 MHz melalui *software* signal hound.
6. Mencatat nilai *return loss* yang ditunjukkan oleh *Spectrum Analyzer*



Gambar 5.1 Rangkaian Pengukuran *Return Loss*

Sumber: Pengujian

### 5.2.3 Hasil Pengukuran

Nilai koefisien pantul dan *VSWR* pada frekuensi resonansi dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$RL = 20 \log \Gamma \text{ (dB)}$$

$$\Gamma = 10^{\left(\frac{RL}{20}\right)}$$

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

Dengan menggunakan persamaan di atas maka akan didapatkan hasil pengukuran antenna mikrostrip berupa *return loss*, koefisien pantul dan *VSWR* antenna mikrostrip. Berikut hasil pengukuran yang didapat dilihat pada Tabel 5.1.

**Tabel 5.1** Hasil Pengukuran *Return Loss*, Perhitungan Koefisien Pantul dan Perhitungan VSWR

Frekuensi (MHz)	Return Loss (dB)	Koefisien Pantul	VSWR
2000	-8.9	0.359	2.120
2100	-11.3	0.272	1.748
2200	-9.8	0.324	1.957
2300	-8	0.398	2.323
2400	-13.1	0.221	1.568
2500	-7.4	0.427	2.488
2600	-9	0.355	2.1
2700	-8	0.398	2.323

Tabel 5.1 menunjukkan bahwa antenna dapat bekerja secara maksimal dengan menghantarkan sinyal ke ruang bebas adalah pada frekuensi 2100MHz, 2200MHz, dan 2400MHz. Hal ini didasari oleh perhitungan matematis pada (2-13) mengenai toleransi terhadap nilai VSWR, dinyatakan bahwa nilai maksimum untuk sebuah VSWR dikatakan baik adalah 2 dan nilai terbaik dari VSWR adalah 1. Sehingga sesuai dengan perancangan yang diharapkan, antenna telah dapat bekerja pada frekuensi 2400MHz dengan dibuktikan oleh nilai VSWR = 1.568.

#### 5.2.4 Analisis Hasil Pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran, antenna mikrostrip antenna mikrostrip dapat bekerja dalam frekuensi 2400 MHz, dengan ditunjukkan nilai *return loss* lebih dari -10 dB dan VSWR kurang dari 2. Adapun perihal hasil simulasi yang jauh berbeda dengan hasil fabrikasi yang telah dilakukan dapat diakibatkan kesalahan pada saat melakukan eksitasi sinyal pada port ketika dilakukan simulasi menggunakan *software* yang dalam hal ini cukup sering terjadi.

#### 5.3. Pengukuran dan Kinerja *Rectifier Antenna*

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan rangkaian *rectifier* yang terhubung dengan antenna uji yang telah difabrikasi. Idealnya pengukuran dilakukan dengan menggunakan *function generator* sebagai sumber daya, namun karena ketiadaan alat di laboratorium, maka pengukuran dilakukan dengan menggunakan *router* WiFi berfrekuensi 2400 MHz sebagai pemancar dan pengukuran tegangan keluaran (*output*) *rectenna* diukur dengan menggunakan *multimeter digital*.

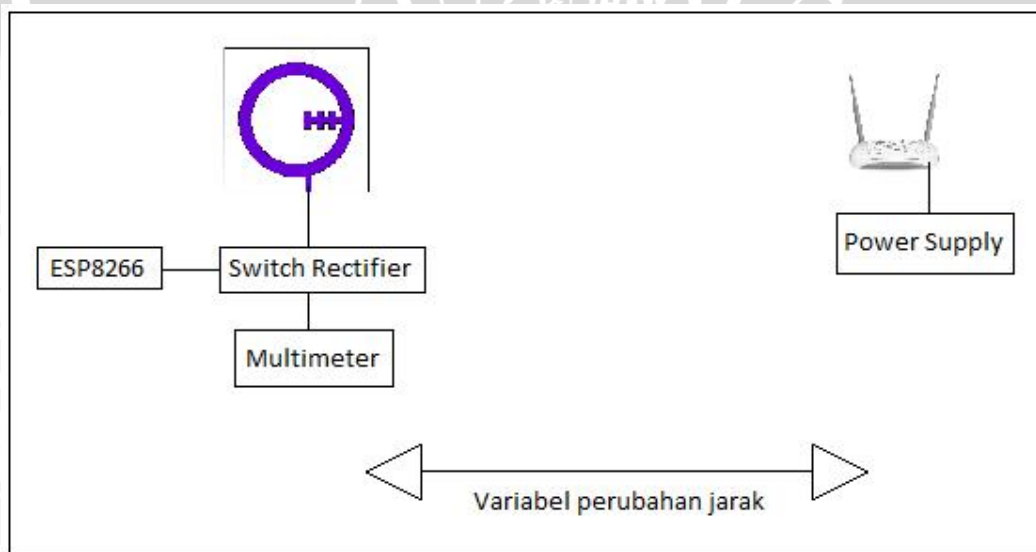
### 5.3.1 Alat-Alat yang Digunakan

Peralatan yang perlu dipersiapkan untuk melakukan pengukuran kinerja *rectenna*, antara lain:

1. *Rectenna (rectifier antenna)*
2. Konektor SMA
3. *Adapter SMA to SMA*
4. *Digital Multimeter*
5. *Router Wifi TP-Link 2.4 GHZ*

### 5.3.2 Prosedur Pengukuran dan Pengujian

1. Menyalakan router TP-Link Wi-Fi berfrekuensi 2400 MHz.
2. Memasang antena uji sebagai antena penerima kemudian menghubungkannya ke rangkaian *rectifier*, seperti ditunjukkan pada gambar 5.2.
3. Menghubungkan keluaran rangkaian *rectifier* pada *digital multimeter*, untuk mengetahui tegangan.
4. Mengukur tegangan *output DC* yang dihasilkan dengan menvariasikan jarak antara rangkaian *rectenna* dengan *router*.

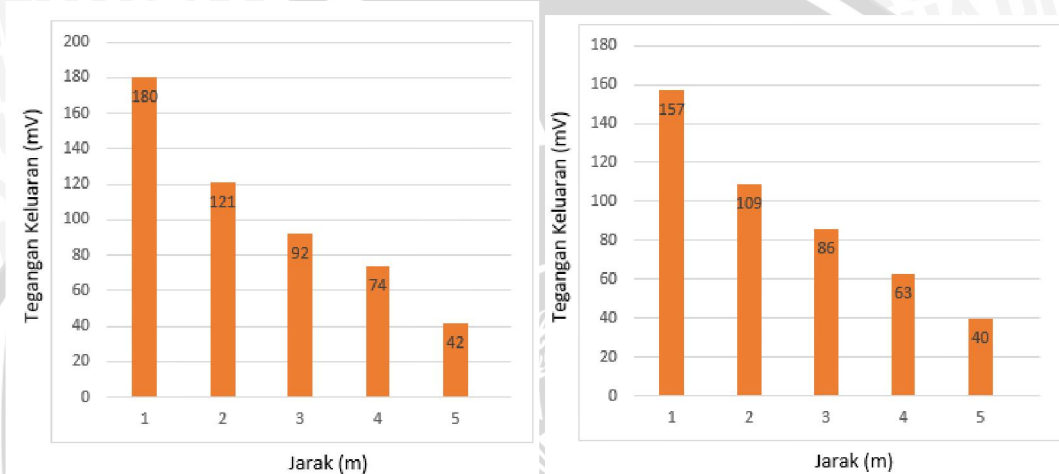


Gambar 5.2 Rangkaian Pengukuran *Rectifier Antenna*

Sumber: Pengujian

### 5.3.3 Hasil Pengukuran dan Pengujian

Berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian yang telah dilakukan, *rectifier antenna* telah dapat bekerja dengan baik dalam frekuensi 2400 MHz. Meskipun dalam keadaan yang tidak ideal, *rectifier* menghasilkan nilai tertinggi pada jarak 1 m sebesar 180mV tanpa menggunakan *switch*. Sedangkan pengukuran dilakukan dengan menggunakan *switch* menunjukkan tren penurunan keluaran tegangan yakni pada jarak 1 m sebesar 157mV. Grafik detail dapat dilihat pada gambar 5.3



Gambar 5.3 Nilai keluaran tegangan *rectifier antenna* (kiri) dan menggunakan *switch* (kanan)

Sumber: Pengujian

Perbedaan hasil antara *rectifier antenna* dan *switch rectifier antenna* dapat terjadi akibat perbedaan impedansi kabel yang digunakan antara rangkaian dengan relay. Berikut perbedaan antara kedua hasil ditampilkan dalam sebuah tabel untuk melihat prosentase perbedaan yang terjadi.

Tabel 5.2 Prosentase perbedaan nilai *output*

Jarak (m)	Tegangan Keluaran <i>Rectifier Antenna</i> (mV)	Tegangan Keluaran <i>Switch Rectifier Antenna</i> (mV)	Perbedaan Keluaran Tegangan (mV)	Prosentase Perbedaan (%)
1	180	157	23	13
2	121	109	12	10
3	92	86	6	7
4	74	63	11	16

5	42	40	2	5
			Rerata perbedaan (%)	10

Perancangan yang telah dilakukan dengan mengacu pada poin efisiensi, maka nilai dikonversikan menjadi dBm yang merupakan satuan untuk daya. Konversi dilakukan dengan menggunakan perhitungan matematis sebagai berikut,

$$P_{(dBm)} = 10 \log \left( \frac{V^2}{R} \right)$$

dengan: V dalam volt dan R sebesar 50Ω. Maka didapatkan nilai konversi sebagai berikut,

**Tabel 5.3** Konversi tegangan ke daya

Jarak (m)	Tegangan Keluaran Rectifier Antenna (mV)	Daya Rectifier Antenna (dBm)	Tegangan Keluaran Switch Rectifier Antenna (mV)	Daya Switch Rectifier Antenna (dBm)
1	180	-1.884	157	-3.071
2	121	-5.333	109	-6.241
3	92	-7.713	86	-8.299
4	74	-9.605	63	-11
5	42	-14.524	40	-14.948

#### 5.4. Pengukuran Kinerja ESP8266 dan Webserver

Kinerja pada webserver yang berbasis virtual dapat diukur dengan keberhasilan tersambungannya *interface* web dan berjalannya program untuk melakukan picu pada *relay* yang terhubung dengan *rectifier*. ESP8266 harus selalu terhubung dengan sumber listrik karena tersambung dengan *relay* sebagai alat picu.

##### 5.4.1 Alat-Alat yang Digunakan

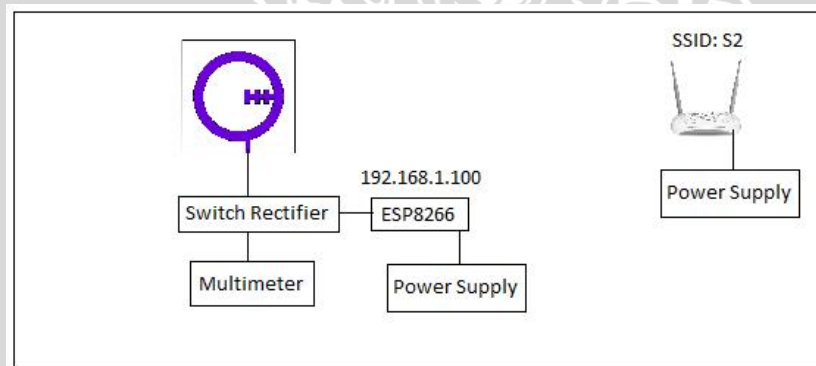
Peralatan yang perlu dipersiapkan untuk melakukan pengukuran kinerja *rectenna*, antara lain:

1. *Rectenna (rectifier antenna)*
2. Antena mikrostrip
3. *Digital Multimeter*

4. Router Wifi TP-Link 2.4 GHZ
5. ESP8266 dan modul
6. Power supply 5VDC
7. Notebook / smartphone

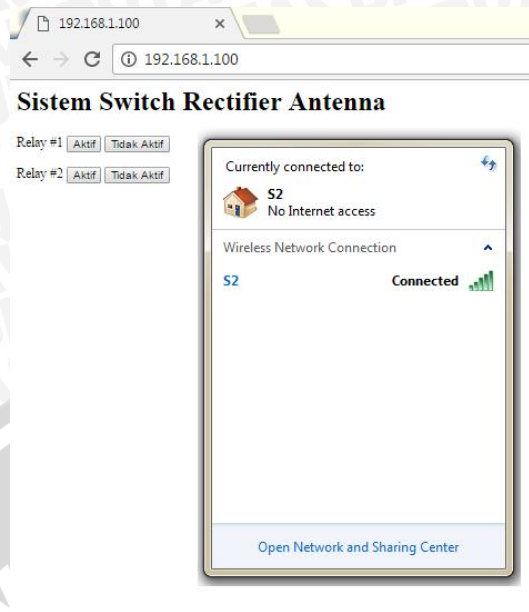
#### 5.4.2 Prosedur Pengukuran dan Pengujian

1. Melakukan prosedur seperti pada pengujian *rectifier antenna*.
2. Menghubungkan ESP8266 dengan relay dan menyalakannya dengan power supply 5VDC.
3. Ketika ESP8266 dan *router* telah menyala, akses *webserver* dapat dilihat dengan menggunakan protokoler IP yang telah diberikan *router* kepada *ESP8266*.
4. Dalam hal ini ESP8266 mendapatkan protokol IP 192.168.1.100, maka *webserver* dapat diakses melalui halaman tersebut dan akses mengaktif dan nonaktifkan *relay* dapat diaktifkan melalui halaman tersebut seperti terlihat pada gambar 5.4.



Gambar 5.4 Rangkaian pengujian ESP8266

Sumber: Pengujian



**Gambar 5.5** Akses terhadap webservice

Sumber: Pengujian

### 5.4.3 Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, *webservice* telah dapat berjalan dan bekerja dengan baik dalam frekuensi 2400 MHz serta menonaktifkan dan menyalakan kembali *rectifier* sesuai dengan keinginan pengguna. Selain itu, pengujian juga telah dilakukan dengan mengaktifkan sistem secara kontinyu selama 4x24jam dan masih dapat bekerja tanpa ada gangguan apapun. Hanya memang disekitar komponen terasa sedikit lebih panas karena memang tidak diberikan *thermal cooler* atau sejenisnya disekitarnya. Adapun akses *webservice* dapat dilakukan dimanapun selama berada dalam jangkauan akses WiFi yang sama dan dalam satu jaringan nirkabel dengan ESP8266.

### 5.5 Efisiensi Sistem

Melihat dari hasil pengukuran yang telah dilakukan, maka sistem telah dapat berjalan secara maksimal ditandai dengan dapat digunakannya *webservice* pada modul ESP8266 untuk melakukan *remote switching* penggunaan *rectifier antenna*. Ditilik dari sisi keluaran proses pemanenan energi, *rectifier antenna* mengeluarkan daya sebesar -1.884dBm pada percobaan *rectifier* tanpa *switch* dengan jarak 1m, dan -3.071dBm pada percobaan *switch rectifier* pada jarak 1m.



## BAB VI PENUTUP

### 6.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan antena mikrostrip pada frekuensi kerja 2400 MHz berdasarkan hasil pengukuran dengan nilai VSWR sebesar 1,568.
2. Daya keluaran untuk *rectifier antenna* pada jarak 1m dari sumber adalah -1.884dBm, 2m adalah -5.333dBm, 3 meter adalah -8.713dBm, 4 meter adalah -9.605dBm, dan 5m adalah -14.524dBm.
3. Daya keluaran untuk *switch rectifier antenna* pada jarak 1m dari sumber adalah -3.071dBm, 2m adalah -6.241dBm, 3 meter adalah -8.299dBm, 4 meter adalah -11dBm, dan 5m adalah -14.948dBm.
4. Penggunaan *switch* dalam rangkaian *rectifier* turut mempengaruhi nilai keluaran tegangan pada hasil pengukuran dengan nilai rerata kerugian 10%.
5. Poin efisiensi yang dimaksud pada perancangan ini tercapai dengan penggunaan ESP8266 yang dapat menyala dan matikan *rectifier antenna* melalui *webserver*.

### 6.2. Saran

Beberapa kendala yang dihadapi memberikan sebuah saran sebagai berikut:

1. Hasil simulasi pada antena mikrostrip perlu diperhatikan dan dianalisis ulang, karena terdapat ketidakwajaran yang signifikan.
2. Nilai tegangan keluar dari *rectifier antenna* yang kecil dapat dimaksimalkan dengan menggunakan jenis dioda lain seperti SMS 7680.
3. Diperlukan pengukuran nilai impedansi dari 3 titik, antena mikrostrip, *rectifier*, dan *relay* sehingga nilai efisiensi yang ingin dicapai dapat dimaksimalkan.
4. Impedansi antara antena mikrostrip dan *rectifier* dapat menggunakan *transformer*, sedangkan pada titik rangkaian dan *relay* dapat menggunakan *single stub* atau *double stub*.

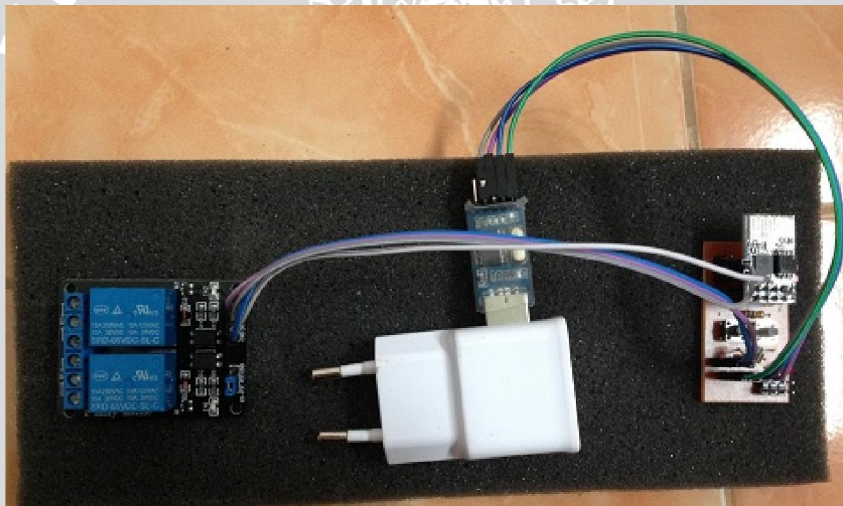
## DAFTAR PUSTAKA

- Balanis, Constantine A. 2005. *Antena Theory: Analysis and Design, 3rd Edition*. John Wiley and Sons, Inc.
- Zhang, Jingwei. 2013. *Rectennas for RF Wireless Energy Harvesting*. UK : University of Liverpool.
- Raytheon Co., Waltham, MA. 1980. *Rectenna Technology Program*. NASA Technical Reports Server : United States.
- Nakar, Punit S. 2004. *Design of a Compact Microstrip Patch Antena for use in Nirkabel/Cellular Devices*. Thesis, The Florida State University.  
<http://elektronikadasar.org> (diakses pada tanggal 25 September 2014)
- Goldsworthy, Andrew. 2007. "The Biological Effects of Weak Electromagnetic Fields". Imperial College London.
- WHO. 2013. IARC Monographs On The Evaluation Of Carcinogenic To Humans. Lyon.
- Lai, Prof. Henry. 2014. Genetic Effects of Non-Ionizing Electromagnetic Fields. USA : University of Washington.
- Gromozova, Elena. dkk. 2016. Genetic Effects Of Non Ionizing Electromagnetic Fields Action. Serbia.
- Desmukh, PS. dkk. 2013. Effect Of Low Level Microwave Radiation Exposure On Cognitive Function and Oxidative Stress in Rats. Indian J Biochem Biophys : India.  
<http://arnoldsat.com> (diakses pada tanggal 25 September 2016)  
<http://digilib.tes.telkomuniversity.ac.id> (diakses pada tanggal 25 September 2016)  
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu> (diakses pada tanggal 25 September 2016)
- G. Kumar and K.P. Ray. 2003. *Broadband Microstrip Antenna*. Artech House : USA.

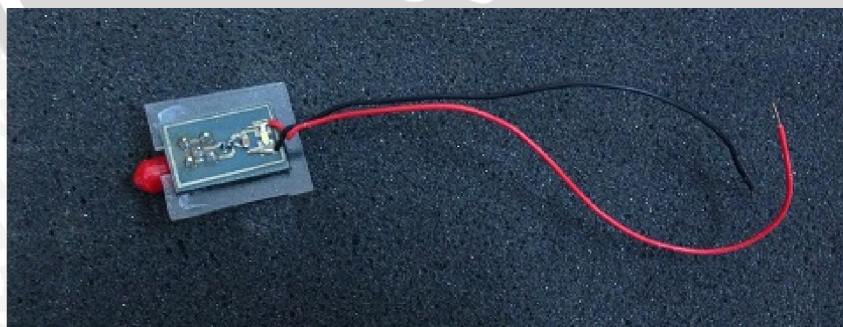
**LAMPIRAN 1**  
**ALAT DAN BAHAN**



**Gambar 1: Digital multimeter**



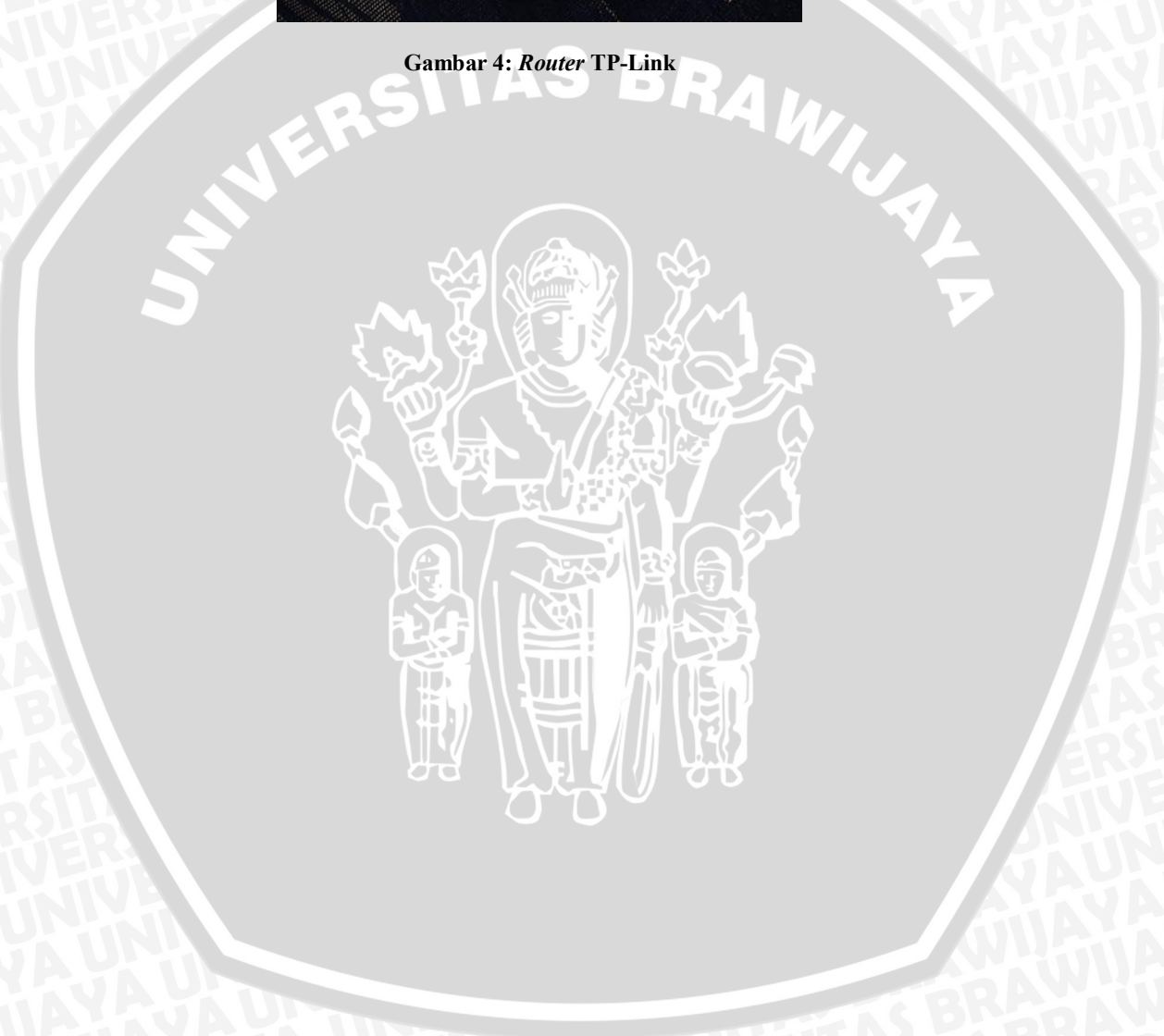
**Gambar 2: (Kiri) Relay, (Tengah) USB Adapter 5VDC, (Kanan) ESP8266**



**Gambar 3: Rectifier dengan output menuju multimeter**



Gambar 4: Router TP-Link



## LAMPIRAN 2

### PROGRAM ASP8266 UNTUK MEMBUAT WEBSERVER

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
#include <ESP8266mDNS.h>

MDNSResponder mdns;

const char* ssid = "S2";
const char* password = "tugasakhir";

ESP8266WebServer server(80);

String webPage = "";

int gpio0_pin = 0;
int gpio2_pin = 2;

void setup(void){
  webPage += "<h1>Switch Rectifier Antenna</h1><p>Relay #1 <a
href=\"socket1On\"><button>Aktif</button></a>&nbsp;<a
href=\"socket1Off\"><button>Tidak Aktif</button></a></p>";
  webPage += "<p>Relay #2 <a
href=\"socket2On\"><button>Aktif</button></a>&nbsp;<a
href=\"socket2Off\"><button>Tidak Aktif</button></a></p>";

  // preparing GPIOs
  pinMode(gpio0_pin, OUTPUT);
  digitalWrite(gpio0_pin, LOW);
  pinMode(gpio2_pin, OUTPUT);
  digitalWrite(gpio2_pin, LOW);
```

```
delay(1000);
Serial.begin(115200);
WiFi.begin(ssid, password);
Serial.println("");

// Wait for connection
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  delay(500);
  Serial.print(".");
}
Serial.println("");
Serial.print("Connected to ");
Serial.println(ssid);
Serial.print("IP address: ");
Serial.println(WiFi.localIP());

if (mdns.begin("esp8266", WiFi.localIP())) {
  Serial.println("MDNS responder started");
}

server.on("/", []() {
  server.send(200, "text/html", webPage);
});
server.on("/socket1On", []() {
  server.send(200, "text/html", webPage);
  Serial.println("1 on");
  digitalWrite(gpio0_pin, HIGH);
  delay(1000);
});
server.on("/socket1Off", []() {
  server.send(200, "text/html", webPage);
  Serial.println("1 off");
  digitalWrite(gpio0_pin, LOW);
  delay(1000);
});
```

```
});  
server.on("/socket2On", [](){  
  server.send(200, "text/html", webPage);  
  Serial.println("2 on");  
  digitalWrite(gpio2_pin, HIGH);  
  delay(1000);  
});  
server.on("/socket2Off", [](){  
  server.send(200, "text/html", webPage);  
  Serial.println("2 off");  
  digitalWrite(gpio2_pin, LOW);  
  delay(1000);  
});  
server.begin();  
Serial.println("HTTP server started");  
}  
  
void loop(void){  
  server.handleClient();  
}
```



**LAMPIRAN 3**

**DATASHEET ALAT PENDUKUNG DAN KOMPONEN**

