

**OPTIMALISASI RECTIFIER ANTENNA MULTIFREQUENCY  
UNTUK ENERGI HARVESTING**

**TUGAS AKHIR**

**Karya tulis sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Sarjana dari  
Universitas Fajar**

**Oleh**

**TAUFIQ ISMAIL**

**1620221090**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS FAJAR**

**2022**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**Optimalisasi Rectifier Antenna Multifrequency Untuk Energi Harvesting**

Disusun Oleh :

**TAUFIQ ISMAIL**  
1620221090

Telah diperiksa dan disetujui oleh Dosen Pembimbing

Makassar, 5 Januari 2024

**Pembimbing I**

Sukriyah Buwarda, ST., MT  
NIDN.0907048004

**Pembimbing II**

Asmawaty Azis, ST., MT  
NIDN.090505850

Mengetahui,



Prof. Dr. Ir. Erniati, S.T., M.T

NIDN. 090602770

**Ketua Program Studi**



Dr. Safaruddin, S.Si., M.T

NIDN. 0909106901

### PERNYATAAN ORISINALITAS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir :

“OPTIMALISASI *RECTIFIER ANTENNA* MULTIFREQUENCY UNTUK ENERGI *HARVESTING*” adalah karya orisinal saya dan setiap seluruh sumber acuan telah ditulis sesuai dengan Panduan Penulisan Ilmiah yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Fajar.

Makassar, ..... 2022

Yang Menyatakan



TAUFIQ ISMAIL

## ABSTRAK

**OPTIMALISASI RECTIFIER ANTENNA MULTIFREQUENCY UNTUK ENERGY HARVESTING.** Penggunaan energi alternatif untuk saat ini merupakan hal yang sangat penting, dikarenakan semakin menipisnya ketersediaan energi di alam. Salah satu contoh potensi energi yang tidak kita sadari kehadirannya disekitar kita adalah gelombang elektromagnetik. Untuk memperoleh besaran energi listrik dari gelombang elektromagnetik dibutuhkan *antenna* dengan rentang frekuensi 470-2400 MHz yang diintegrasikan dengan rectifier dimana pada penelitian ini telah dibuat *rectifier antenna (rectenna)* dengan model rangkaian *voltage doubler* susunan *Dickson 6 stage* yang berfungsi untuk mengkonversi gelombang elektromagnetik menjadi tegangan DC. Penelitian ini merupakan optimisasi dari penelitian rancang bangun *rectifier antenna multifrequency* untuk energi harvesting dimana didapatkan selisih perbandingan sebesar 51,2% pada *input* frekuensi 2400MHz dengan *output* tegangan sebesar 2,910 V dimana hasil ini telah melampaui *output* tegangan tertinggi pada penelitian sebelumnya.

**Kata Kunci:** *Rectenna, voltage doubler Dickson, energy harvesting.*

## **ABSTRACT**

**OPTIMIZATION OF MULTIFREQUENCY RECTIFIER ANTENNA FOR USE OF ENERGY.** *The use of alternative energies at this time is very important, due to the depletion of energy availability in nature. An example of potential energy that we are not aware of its presence around us is electromagnetic waves. To obtain the amount of electrical energy from electromagnetic waves, an antenna with a frequency range of 470-2400 MHz is needed, which is integrated with a rectifier where in this study a rectifier antenna (rectenna) has been made with a circuit model voltage doubler, a 6-stage arrangement from Dickson, which works to convert electromagnetic waves into DC voltage. This investigation is an optimization of the investigation on the design of a multifrequency antenna rectifier for energy harvesting where comparison difference 51,2% at the input frequency 2400MHz with an output voltage 2,910 V where this result has exceeded the highest output voltage in previous studies.*

**Keywords:** *Rectenna, voltage doubler Dickson, energy harvesting.*

## DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS .....	6
ABSTRAK .....	7
ABSTRACT .....	8
DAFTAR ISI .....	9
DAFTAR TABEL .....	11
DAFTAR GAMBAR .....	13
BAB I PENDAHULUAN .....	16
I.1 Latar Belakang .....	16
I.2 Rumusan Masalah .....	18
I.3 Tujuan Penelitian .....	18
I.4 Batasan Masalah .....	18
I.5 Manfaat Penelitian .....	19
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	20
II.1 Tinjauan Teori .....	20
II.1.1 Optimalisasi .....	20
II.1.2 Rectenna .....	21
II.1.3 RF ( <i>Radio Frequency</i> ) to DC .....	27
II.1.4 Voltage Doubler .....	28
II.1.5 Dioda Schottky .....	29
II.1.6 Kapasitor .....	31
II.1.7 <i>Software NI Multisim</i> .....	32

II.1.8 <i>Teori arus daya dan tegangan</i> .....	33
II.2 Penelitian Terdahulu/ <i>State of the art</i> .....	37
II.3 Kerangka Pikir .....	39
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>40</b>
III.1 Bagan Alur Penelitian/Tahapan Penelitian .....	40
III.2 Rancangan Sistem .....	41
III.2.1 Pemilihan Komponen .....	43
III.2.2 Perancangan rangkaian rectifier pada NI Multisim 14.2 .....	43
III.2.3 Pengujian Hasil simulasi .....	44
III.2.4 Perancangan Hardware rectifier .....	44
III.2.5 Pengujian rectifier dengan <i>Input power supply AC</i> .....	45
III.2.6 Pengukuran <i>output</i> tegangan rectifier <i>antenna</i> .....	46
III.2.7 Pengukuran Optimalisasi rectifier <i>antenna</i> .....	46
<b>III.3 Waktu dan Lokasi Penelitian</b> .....	<b>47</b>
III.3.1 Waktu Penelitian.....	47
III.3.2 Lokasi Penelitian .....	47
<b>III.4 Alat dan Bahan</b> .....	<b>47</b>
<b>III.5 Metode Pengumpulan Data</b> .....	<b>49</b>
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>50</b>
<b>IV.1 Hasil</b> .....	<b>50</b>
IV.1.1 Simulasi Rangkaian rectifier menggunakan software NI Multisim .....	53
IV.1.2 Pengujian dan perbandingan hasil simulasi rangkaian rectifier menggunakan software NI Multisim .....	60
IV.1.3 Perancangan hardware rectifier .....	62

IV.1.4 Pengujian hardware Rectifier dengan <i>input</i> power supply AC .....	67
IV.1.3 Pengukuran Rectifier <i>Antenna</i> pada ruang Indoor .....	71
IV.1.4 Pengukuran Rectifier <i>Antenna</i> lokasi outdoor.....	74
<b>IV.2 Pembahasan.....</b>	<b>80</b>
IV.2.1 Perbandingan spesifikasi rectifier.....	81
IV.2.2 Perbandingan <i>Output</i> tegangan rectenna .....	82
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	84
<b>V.1 Kesimpulan .....</b>	<b>84</b>
<b>V.2 Saran.....</b>	<b>84</b>
DAFTAR PUSTAKA .....	85

## DAFTAR TABEL

Tabel IV.1. Tabel persamaan <i>input</i> power AC.....	55
Tabel IV.2. Tabel hasil simulasi rangkaian dengan software NI. Multisim.....	60
Tabel IV.3. Tabel perbandingan keluaran simulasi rangkaian sebelum dan setelah simulasi .....	61
Tabel IV.4. Tabel hasil pengujian <i>rectifier</i> dengan <i>input power supply</i> AC.....	70
Tabel IV.6. Tabel hasil pengukuran <i>output</i> tegangan DC <i>indoor</i> .....	74
Tabel IV.7. Tabel hasil pengukuran <i>output</i> tegangan DC lokasi <i>outdoor</i> .....	79
Tabel IV.8. Tabel perbandingan <i>output</i> tegangan pengukuran <i>rectenna indoor</i> dan <i>outdoor</i> .	79
Tabel IV.9. Tabel perbandingan spesifikasi rangkaian <i>rectifier</i> .....	81
Tabel IV.10. Tabel perbandingan <i>output</i> <i>rectenna</i> sebelum dan setelah dioptimalisasi... <b>Error!</b> <b>Bookmark not defined.</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1 Sistem kerja <i>Antenna</i> .....	21
Gambar II.2 Rangkaian Setengah Gelombang.....	23
Gambar II. 3 Sinyal <i>Output</i> PenyearahSetengah Gelombang.....	23
Gambar II. 4 Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh Dengan 2 Buah Dioda.....	25
Gambar II. 5 Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh 4 Dioda.....	25
Gambar II. 6 Rangkaian penyearah gelombang penuh dibangun dari sebuah transformator CT dengan dua dioda penyearah.....	26
Gambar II.7 <i>Output</i> dari penyearah gelombang penuh.....	26
Gambar II.8 Rangkaian <i>Voltage Doubler</i> .....	28
Gambar II.9 Simbol dari dioda Schottky .....	29
Gambar II.10 Kapasitor .....	31
Gambar II.11 Tampilan Multisim.....	32
Gambar II.12 Bagan Kerangka Pikir .....	39
Gambar III.1 Tahapan Penelitian.....	40
Gambar III.3 Bagan alir rangkaian <i>rectenna</i> . .....	42
Gambar III.3. Pengujian Hasil simulasi.....	44
Gambar IV.1 Simulasi rangkaian <i>rectifier</i> pada <i>software Advanced design system</i> dengan <i>diode Schottky</i> HSMS 2822. ....	51
Gambar IV.2 Hasil Cetak rangkaian <i>rectifier</i> dengan <i>diode Schottky</i> HSMS-2822. ....	51

Gambar IV.3 <i>Output antenna</i> TV rangkaian <i>rectifier</i> dengan komponen <i>diode Schottky HSMS 2822</i> .....	52
Gambar IV.4 Rangkaian <i>Voltage doubler diksons</i> model.....	53
Gambar IV.5 Hasil Pengujian Menggunakan <i>Input</i> Frekuensi 470MHz dengan 0,398 Vrsm(a), 0,224 Vrms (b) dan 0,126 (c).....	56
Gambar IV.6 Hasil Pengujian Menggunakan <i>Input</i> Frekuensi 900MHz dengan 0,398 Vrsm(a), 0,224 Vrms (b) dan 0,126 (c).....	58
Gambar IV.7 Hasil simulasi Menggunakan <i>Input AC</i> Frekuensi 2400MHz dengan (a) <i>input</i> 0,398Vrsm, (b) <i>input</i> 0,224Vrsm dan (c) 0,126Vrsm. ....	59
Gambar IV.8 Layout PCB menggunakan software Proteus 8 profesional. ....	62
Gambar IV.9 Layout 3D PCB menggunakan software Proteus 8 profesional. ....	63
Gambar IV.10 layout film rangkaian yang telah dicetak pada kertas kingstruk.....	63
Gambar IV.11 Rangkaian pada kertas kingstruk direkatkan pada papan PCB dengan cara dipanaskan menggunakan setrika. ....	64
Gambar IV.12 Proses pelarutan PCB dengan larutan <i>Ferric Chloric</i> (FeCl <sub>3</sub> ).....	65
Gambar IV.13 Proses pengeboran pada papan PCB.....	65
Gambar IV.14 Proses penyolderan rangkaian dan komponen.....	66
Gambar IV.15 Hasil cetak rangkaian <i>rectifier</i> .....	66
Gambar IV.16 Pengukuran <i>Output rectifier</i> menggunakan <i>input Power Supply</i> 5 V. ....	68
Gambar IV.17 Pengukuran <i>Output rectifier</i> menggunakan <i>input Power Supply AC</i> 3 V.....	69
Gambar IV.18 Pengukuran <i>Output rectifier</i> menggunakan <i>input Power Supply AC</i> 1 V .....	69

Gambar IV.19 Hasil Pengukuran <i>Output</i> tegangan <i>rectifier</i> antena TV <i>Indoor</i> .....	71
Gambar IV.20 Hasil Pengukuran <i>Output</i> tegangan <i>rectifier</i> antena GSM <i>indoor</i> .....	72
Gambar IV.21 Hasil Pengukuran <i>Output</i> tegangan <i>rectifier</i> Antena WI-FI <i>Indoor</i> .....	73
Gambar IV.22 Tower pemancar TV pada Kompleks Pemancar TV Nasional Sul-Sel .....	75
Gambar IV.23. Hasil Pengukuran <i>Output</i> DC <i>rectenna</i> lokasi <i>outdoor</i> Antena TV .....	76
Gambar IV.24. BTS ( <i>Base Transceiver Station</i> ) yang terletak di Jl. Racing center IV. ....	77
Gambar IV.25. Hasil Pengukuran <i>Output</i> tegangan <i>rectenna</i> lokasi <i>outdoor</i> Antena GSM.....	77
Gambar IV.26. Hasil Pengukuran <i>Output</i> tegangan <i>rectenna outdoor</i> antena WI-FI. ....	78
Gambar IV.27. Grafik perbandingan pengukuran <i>indoor</i> dan <i>outdoor</i> tegangan <i>rectenna</i> .....	80

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Penggunaan energi alternatif untuk saat ini merupakan hal yg sangat penting, dikarenakan makin menipisnya ketersediaan energi di alam. Salah satu contoh potensi energi yang tidak kita sadari kehadirannya disekitar kita adalah gelombang frekuensi radio atau yang biasa dikenal dengan gelombang RF untuk memperoleh besaran energi listrik dari gelombang elektromagnetik diperlukan sebuah antena untuk menangkap gelombang elektromagnetik yang merambat bebas di alam. Gelombang elektromagnetik yang berupa arus bolak balik (AC) memerlukan sebuah penyearah (*rectifier*) untuk mengubah besaran gelombang elektromagnetik menjadi besaran listrik. Integrasi antara antena yang menangkap gelombang elektromagnetik dengan yang menyearahkan arus AC menjadi arus DC disebut *rectenna (rectifier antenna)*. Telah banyak penelitian yang membahas perancang *rectifier antenna*, penelitian-penelitian sebelumnya yaitu sistem RF *Energy Harvesting* dengan menggunakan *rectenna* telah berhasil mengkonversi gelombang radio menjadi tegangan DC namun *output* yang dihasilkan belum sesuai yang diharapkan, maka dari itu perlu dilakukan optimalisasi sebagai langkah lanjutan untuk menghasilkan *output* yang stabil.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Fajar Sahid, 2020. Rancang bangun *antenna multifrequency* untuk energi hervesting dengan menggunakan antena TV UHF dengan frekuensi 470-806 MHz dan antena WiFi dengan frekuensi 2400MHz. Menghasilkan listrik DC paling besar 1,420V dan tegangan rata-rata 231,7mV/menit dengan jarak 90cm dari sumber frekuensi terbesar dan antena TV UHF sebesar 648mV dan tegangan rata-rata 478,16mV/menit dengan jarak 0cm dari sumber frekuensi terbesar. (Muhammad Fajar Sahid. 2020). Pada penelitian lainnya dilakukan perancangan *rectenna* pada frekuensi 2.4 Ghz dan diperoleh nilai tegangan keluaran DC sebesar 4,306 mV. (Arnandha Rifkiano,

Zulfi, Yuyu.2016) dan Rancang Bangun Antena Penyearah (*Rectifier Antenna*) Untuk Pemanen Energi Elektromagnetik Pada Frekuensi GSM 1800 MHz dan menghasilkan tegangan *output* hasil konfersi terbaik dari *rectenna* 0,4mV. (Dirton BG Parubak, Rudy Yuwono, S.T., M.Sc., Fauzan Edy Pramono, S.T, M.T.2014). Ketiga penelitian ini memiliki tegangan keluaran yang rendah dan juga dari hasil pengujian yang dilakukan, tegangan DC yang dihasilkan oleh *rectifier* tidak stabil. Maka dari itu perlu dilakukan optimalisasi untuk mendapatkan hasil yang lebih stabil.

Dalam realisasi sistem *rectenna*, rangkaian *rectifier* yang berfungsi untuk mengkonversi tegangan RF menjadi tegangan DC menjadi bagian yang sangat penting. Selain untuk mengkonversi atau menyearahkan tegangan sinyal RF menjadi tegangan DC, *rectifier* juga berfungsi untuk melipat gandakan tegangan *input*, maka dari itu pemilihan metode jenis rangkaian *rectifier* sangat diperhatikan. Salah satu metode jenis *rectifier* adalah *voltage doubler* juga dikenal dengan rangkaian *voltage multiplier*, Rangkaian *voltage multiplier* dapat digunakan dalam beberapa macam bentuk susunan seperti *Villard*, *dicksons*, *resonan Villard* dan *resonan dicksons*. Pada penelitian sebelumnya telah membandingkan keempat rangkaian tersebut, dengan hasil susunan *dicksons* lebih relatif lebih baik pada sistem bertegangan rendah. kelebihan dari rangkaian ini dapat bertindak sebagai penyearah dan pengganda besar tegangan *output* dan mampu bekerja efektif dan efisien pada rangkaian dengan *input* bertegangan rendah namun menghasilkan tegangan keluaran berlipat ganda (Muhammad Novian Rahmatur Rajab, 2019). Desain *rectifier* dibuat menggunakan aplikasi software NI Multisim 14.2 dan menggunakan metode *voltage doubler dickson* model yang telah dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan, dari hasil simulasi kemudian akan dilakukan fabrikasi *hardware rectifier* dan pada tahap akhir dilakukan integrasi antara rangkaian *rectifier* dengan antena.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Dari uraian latar belakang diatas maka penulis dapat merumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang *rectifier antenna* dengan metode *voltage doubler* dengan rangkaian *dickson model*?
2. Bagaimana menguji *output rectifier antenna* dengan metode *voltage doubler* dengan rangkaian *dickson model*?
3. Bagaimana mengukur keberhasilan optimalisasi *rectifier antenna*?

## **I.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang hendak dicapai pada penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Merancang *rectifier antenna* dengan metode *voltage doubler* dengan rangkaian *dickson model*.
2. Menguji *output rectifier antenna* dengan metode *voltage doubler* dengan rangkaian *dickson model*.
3. Mengukur keberhasilan optimalisasi *rectifier antenna multifrekuensi* dengan rangkaian *dicksons model*.

## **I.4 Batasan Masalah**

Pada penelitian ini penulis memberikan beberapa batasan masalah agar tak menimbulkan permasalahan lain dalam penelitian, batasan masalahnya antara lain:

1. *Frequency* yang digunakan yaitu, televisi *UHF (470-806 MHz)*, *GSM (1800)* dan *Wi-Fi (2400 MHz)*.
2. Menggunakan 3 antena yang berbeda, yaitu antena tv, antena gsm, antena Wi-Fi.

## **I.5 Manfaat Penelitian**

Mengoptimalkan keluaran *rectifier antenna multifrekuensi* yang hasilnya kemudian dapat memberikan kontribusi dalam upaya menjaga pasokan energi alternatif dari alam yang efisien untuk digunakan dalam industri dan kehidupan sehari-hari.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Tinjauan Teori**

*Energy harvesting* atau pemanenan energi merupakan proses dimana energi berasal dari sumber eksternal seperti surya atau matahari, panas, gelombang RF (radio frekuensi), dan gelombang elektromagnetik lain yang memancarkan sinyal. Salah satu perangkat yang dapat digunakan untuk memanen energi adalah *rectifier* yang diintegrasikan dengan antena. Antena digunakan sebagai penangkap gelombang elektromagnetik dari ruang bebas, sedangkan *rectifier* atau penyearah gelombang yang digunakan sebagai converter sinyal listrik AC yang telah diterima oleh antena menjadi sinyal listrik DC. (Arfianto Fahmi, Yuyu Wahyu. 2018). Telah banyak penelitian yang membahas pemanfaatan gelombang elektromagnetik menjadi energi alternatif namun tidak semua berhasil mendapatkan hasil yang diharapkan maka dari itu perlu dilakukan optimalisasi untuk mendapatkan hasil yang stabil.

##### **II.1.1 Optimalisasi**

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), bahwa optimalisasi berasal dari kata optimal artinya terbaik atau tertinggi. Mengoptimalkan berarti menjadikan paling baik atau paling tinggi. Sedangkan optimalisasi adalah proses mengoptimalkan sesuatu, dengan kata lain proses menjadikan sesuatu menjadi paling baik atau paling tinggi. Jadi, optimalisasi adalah suatu proses mengoptimalkan sesuatu atau proses menjadikan sesuatu menjadi paling baik. Optimalisasi maknanya: langkah/metode untuk mengoptimalkan.

Dalam hal penelitian ini tentu yang dimaksud adalah sebuah upaya, langkah/metode yang dipakai dalam rangka mengoptimalkan penelitian sebelumnya yaitu “Rancang bangun *antenna multifrequency* untuk energi *harvesting*”.

### II.1.2 Rectenna

*Rectenna* adalah teknologi yang terdiri dari *rectifier* dan antena, yang berfungsi untuk mengkonversi gelombang elektromagnetik menjadi sumber arus DC. *Rectenna* merupakan antena yang dintegrasikan dengan, secara sederhana *rectenna* bisa dikatakan adalah perangkat yang memiliki kemampuan untuk mengkonversi gelombang RF menjadi tegangan DC. Antena berfungsi menangkap gelombang elektromagnetik dari ruang bebas yang banyak dipancarkan perangkat-perangkat telekomunikasi yang berada disekitar kita seperti yang dipancarkan oleh BTS, *Access Point*, dan lain-lain, sedangkan digunakan untuk mengkonversi gelombang elektromagnetik tersebut menjadi tegangan DC. Komponen utama dalam penyearah gelombang adalah diode yang dikonfiguarsikan secara forward bias.



Gambar I.1 Sistem kerja *Antenna*  
(Sumber: Ryan Rivald, Heroe Wijanto, Yuyu Wahyu .2018)

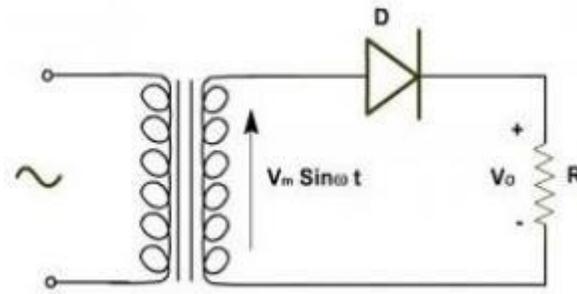
1. *Rectifier* (Penyearah) adalah alat yang digunakan untuk mengubah sumber arus bolak-balik (*Alternating Curent*) menjadi sinyal sumber arus searah (*Direct Curent*). Tujuan dari penggunaan *rectifier* yang teregulasi adalah
2. untuk mendapatkan tegangan keluaran yang konstan bila ada perubahan arus beban ataupun *inputan* (AC) yang jelek sekalipun, serta *batterai* sebagai penyimpanan tenaga listrik bila tegangan (AC) *cutover*. Komponen utama dalam penyearah gelombang adalah diode yang dikonfiguarsikan secara forward bias. Dalam sebuah *power*

*supply* tegangan rendah, sebelum tegangan AC tersebut di ubah menjadi tegangan DC maka tegangan AC tersebut perlu di turunkan menggunakan *transformator stepdown*. Ada 3 bagian utama dalam penyearah gelombang pada suatu *power supply* yaitu, penurun tegangan (*transformer*), penyearah gelombang (*diode*) dan filter (kapasitor). (Hadi Admadjaja, 2018).

Penyearah dibedakan menjadi 2 jenis, penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh, sedangkan untuk penyearah gelombang penuh dibedakan menjadi penyearah gelombang penuh dengan center tap (CT), dan penyearah gelombang penuh dengan menggunakan dioda bridge.

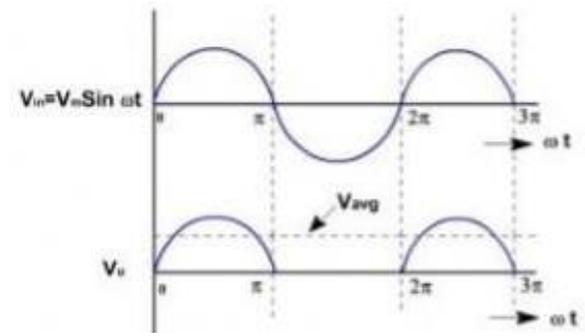
a. Penyearah Setengah Gelombang

Rangkaian penyearah hanya menggunakan satu buah dioda. Dioda akan berfungsi sebagai kawat pada saat diberi bias maju maka akan berfungsi sebagai saklar terbuka. Maksud dari bias maju adalah pada terminal anodanya diberi catu daya positif kemudian terminal katodanya diberi catu negatif. Intinya arus listrik bisa mengalir apabila searah dengan arah panah, apabila kita pasang berlawanan maka arus tidak bisa mengalir. Gelombang masukan yang terdapat pada rangkaian setengah gelombang adalah gelombang yang berada dibagian bawah, sedangkan gelombang keluaran adalah yang pada bagian atas. Pada saat siklus positif tegangan yang jatuh pada terminal *output* idealnya adalah sama dengan tegangan *supply*, atau tegangan *supply* – 0,7 V (Dioda silicon) serta tegangan *supply* – 0,3 V (*Dioda germanium*). Hal ini terjadi karena dioda diberi bias maju sehingga arus listrik akan melewati dioda bagaikan seutas kawat.



Gambar II.2 Rangkaian Setengah Gelombang  
(Dimas Dwinata.2017)

Sedangkan pada saat siklus negatif, tegangan *output* hampir sama dengan 0 volt dikarenakan dioda diberi bias mundur (*bias reverse*) sehingga dioda bekerja bagaikan kawat yang terputus atau saklar yang terbuka. Penyearah setengah gelombang merupakan rangkaian penyearah yang paling sederhana, yaitu yang terdiri dari satu dioda. sehingga sinyal sisi negatif tegangan AC tersebut ditahan atau tidak dilewatkan seperti terlihat pada gambar sinyal *output* penyearah setengah gelombang berikut.



Gambar II.3 Sinyal *Output* Penyearah Setengah Gelombang  
(Dimas Dwinata.2017)

Hubungan antara tegangan puncak  $V_m$  dengan tegangan efektif ( $V_{eff}$ ) atau tegangan rms. Prinsip kerja penyearah setengah gelombang adalah bahwa pada saat sinyal *input* berupa siklus positif maka dioda mendapat bias maju sehingga arus ( $i$ ) mengalir ke beban

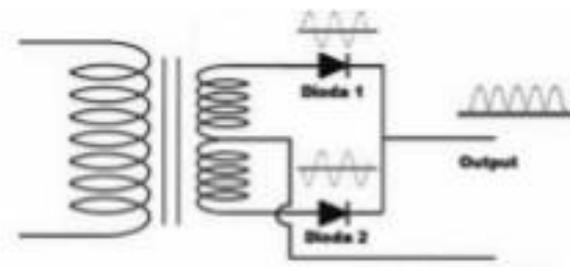
(RL), dan sebaliknya bila sinyal *input* berupa siklus negatif maka dioda mendapat bias mundur sehingga tidak mengalir arus. Resistansi dioda pada saat ON (mendapat bias maju) adalah RF, yang umumnya nilainya lebih kecil dari RL. Pada saat dioda OFF (mendapat bias mundur) resistansinya besar sekali atau dalam pembahasan ini dianggap tidak terhingga, sehingga arus dioda tidak mengalir atau  $i = 0$ .

b. Penyearah Gelombang Penuh

Penyearah gelombang penuh (*full wave*) adalah sistem penyearah yang menyearahkan semua siklus gelombang sinus menggunakan dua blok dioda (satu blok dioda bisa berupa satu atau beberapa dioda yang diparalel) yang bekerja secara komplen. Satu dioda bekerja pada fase siklus positif dan satu dioda bekerja pada fase siklus negatif yang telah dibalik. Oleh karena itu penyearah gelombang penuh identik dengan penggunaan *transformator center tap (CT)* yang memiliki dua buah *output* sinyal AC dengan fase berkebalikan. Rangkaian penyearah gelombang penuh menghasilkan tegangan DC dengan riak (*ripple*) yang lebih sedikit dibanding penyearah setengan gelombang. Hal ini karena gelombang yang dihasilkan lebih rapat yaitu hasil penggabungan dari siklus sinyal sinus positif dan siklus sinyal sinus negatif yang telah dibalik menjadi siklus positif. Jadi penyearah akan tetap mengeluarkan *output* pada periode gunung dan lembah dari sinyal sinus.

• Penyearah Gelombang Penuh Dengan 2 Buah Dioda

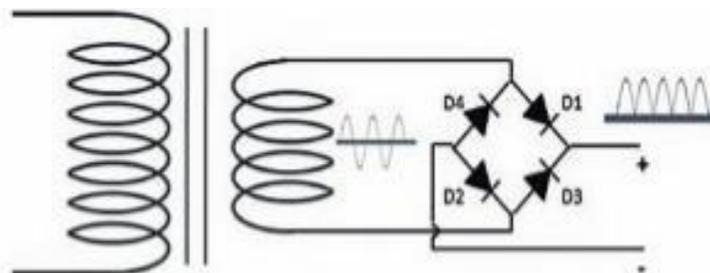
Penyearah gelombang penuh dengan 2 buah dioda harus menggunakan *trafo CT* alias *centre tapped* karena trafo tersebut memberikan keluaran yang berbeda fase hingga 180 derajat. Dengan adanya dua buah dioda yang dihubungkan pada *output trafo CT*, maka membuat sinyal membentuk gelombang penuh.



Gambar II.4 Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh Dengan 2 Buah Dioda  
(Dimas Dwinata.2017)

- Penyearah Gelombang Penuh 4 Dioda

Penyearah gelombang penuh dengan 4 buah dioda tidak perlu menggunakan trafo CT. Dioda dirangkai membentuk sebuah dioda bridge sehingga *output* trafo yang masuk ke dalam rangkaian dioda akan dikonversi sehingga membuat sinyal membentuk gelombang penuh atau *full wave*.

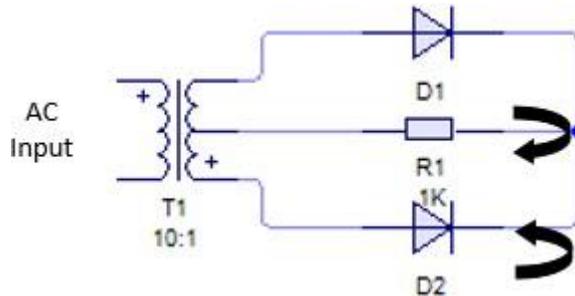


Gambar II.5 Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh 4 Dioda  
(Dimas Dwinata.2017)

- Prinsip Kerja Penyearah Gelombang Penuh

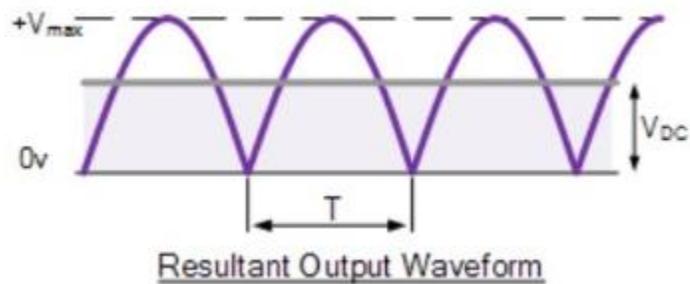
Sebuah rangkaian penyearah gelombang penuh dibangun dari sebuah transformator CT dengan dua dioda penyearah. Fungsi transformator CT adalah menghasilkan dua buah sinyal sinus dengan fase yang berkebalikan. Satu lilitan menghasilkan fase yang

sama dengan *input* dan satu lilitan yang lain menghasilkan fase yang berkebalikan dari sinyal *input*.



Gambar II.6 Rangkaian penyearah gelombang penuh dibangun dari sebuah transformator CT dengan dua dioda penyearah.  
(Dimas Dwinata.2017)

Dengan dua sinyal AC yang saling berbeda fase ini maka kedua dioda yang masing-masing berfungsi sebagai penyearah setengah gelombang dapat bekerja secara bergantian. Satu dioda menyearahkan siklus positif dari lilitan atas dan satu dioda kemudian ganti menyearahkan siklus positif dari lilitan bawah yang merupakan balikan fasa dari siklus negatif sinyal *input* AC.



Gambar II.7 *Output* dari penyearah gelombang penuh  
(Dimas Dwinata.2017)

*Output* dari penyearah gelombang penuh yang lebih rapat dari penyearah setengah gelombang menyebabkan riak (ripple) yang ada

pada *output* tegangan DC menjadi lebih kecil. Akibatnya *output* dari penyearah gelombang penuh menjadi lebih halus dan lebih stabil dari penyearah setengah gelombang. Perhitungan tegangan DC pada penyearah gelombang penuh bisa dikatakan dua kali dari penyearah setengah gelombang. Hal ini karena semua siklus sinyal AC dikeluarkan. Jadi besarnya tegangan *output* dari penyearah gelombang penuh adalah 2 kali  $V_{max}$  dibagi dengan  $\pi$  ( $\pi$ ). Dimana besarnya  $V_{max}$  adalah tegangan puncak ( $V$ -peak) dari salah satu siklus sinyal AC. Atau sebesar  $0.637V_{max}$ . Dan jika dihitung dengan nilai RMS menjadi  $0.637$  kali  $\sqrt{2}$  sama dengan  $0.9V_{rms}$ .

$$V_{dc} = \frac{2 V_{max}}{\pi} = 0.637 V_{max} = 0.9 V_{rms}$$

(Dimas Dwinata.2017)

3. Antena adalah peranti (*device*) logam, digunakan untuk memancarkan atau menerima gelombang radio seperti batang atau kawat, menurut *IEEE (IEEE Std 145-1973)* antena adalah peranti untuk memancarkan atau menerima gelombang radio. Dengan kata lain, antena adalah struktur peralihan antara ruang bebas dan piranti pemandu (*guiding device*). Peranti pemandu atau kabel transmisi dapat berbentuk kabel koaksial atau pemandu gelombang (*wave guide*) dan alat pemandu ini digunakan untuk membawa energi elektromagnetik dari sumber ke antena atau dari antena ke penerima, dan masing-masing antena disebut sebagai antena pemancar atau antena penerima. Pada penelitian ini digunakan 3 jenis antena sebagai penerima energi yaitu antena televisi *UHF (470-806 MHz)*, antena *GSM (1800)* dan antena *Wi-Fi (2400 MHz)*.

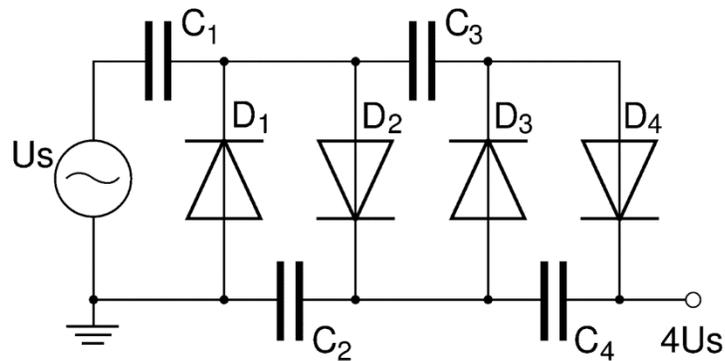
### **II.1.3 RF (Radio Frequency) to DC**

Sinyal frekuensi radio/ *radio frequency (RF)* merupakan gelombang yang berpropagasi diudara pada alokasi frekuensi 30 KHz hingga 300 GHz. Sinyal RF banyak digunakan pada teknologi komunikasi dan transmisi data. dengan begitu banyak sumber sinyal RF

dapat ditemui khususnya pada daerah urban, yaitu pemancar radio, stasiun televisi, *BTS seluler*, *transmitter wireless LAN*, dan perangkat berbasis RF lainnya. Pada tiap aplikasi teknologi komunikasi tersebut memiliki range frekuensi yang berbeda untuk transmisi sinyal RF. Pemancar radio menggunakan *range 30 MHz – 300 MHz*, stasiun televisi menggunakan range 47 MHz - 960 MHz, komunikasi seluler GSM menggunakan frekuensi 900 MHz dan 1800 MHz, dan pada *wireless LAN* menggunakan frekuensi 2400 MHz. karna melimpahnya energi elektromagnetik, maka dapat dimanfaatkan menjadi energi alternatif. Pemanfaatan energi RF dimungkinkan karna semakin berkembangnya teknologi energi *harvesting*. Energi *harvesting* merupakan pemanenan energi dari dari sumber eksternal, salah satu contohnya adalah *rectenna*.

#### II.1.4 Voltage Doubler

Rangkaian *voltage doubler* merupakan rangkaian elektronik yang jika diberi masukan sinyal AC, maka menghasilkan tegangan keluaran DC dua kali lebih besar dibanding tegangan puncak *input* dikurangi tegangan threshold dioda pada rangkaian. Rangkaian *voltage doubler* bertindak sebagai *rectifier* mengkonversi sinyal AC menjadi tegangan DC sekaligus bertindak sebagai amplifier memperbesar nilai tegangan *output* DC



Gambar II. 8. Rangkaian *Voltage Doubler*  
(Daniel Schemmel 2017)

Rangkaian *rectifier* bekerja saat gelombang AC memulai setengah siklus positif pertama berupa gelombang sinusoidal. Jika besar tegangan puncak *input* lebih besar dari tegangan thresholddioda, maka rangkaian mengalirkan arus melewati dioda D1, sehingga kapasitor C1 akan menyimpan muatan, yang berarti tegangan pada  $C1 = A - h$ , dan D2 menjadi rangkaian terbuka karena dalam keadaan reverse bias. Saat gelombang Sinusoidal mengalami siklus negatif maka kapasitor C1 akan tetap menyimpan muatan dan dioda D1 menjadi rangkaian terbuka sedangkan D2 yang dapat mengalirkan arus, maka kapasitor C2 akan terisi muatan sebesar tegangan *input* ditambah tegangan yang tersimpan pada C1. Dari proses tersebut dapat disimpulkan tegangan *output* C2 lebih besar dua kali tegangan puncak *input* dikurangi tegangan threshold dioda. Pada penyambungan rangkaian antar stage *voltage doubler* secara seri juga didapatkan penambahan nilai tegangan *output*. Rangkaian *rectifier* dilakukan dengan membandingkan rangkaian *voltage doubler* susunan Dickson 1 stage, 3 stage, dan 5 stage.

### II.1.5 Dioda Schottky

Dioda Schottky adalah salah satu jenis dioda yang bekerja berdasarkan prinsip Schottky barrier. Prinsip kerja dioda jenis ini ditemukan oleh fisikawan Jerman, Walter H. Schottky pada tahun 1938. Gambar II.9 berikut menunjukkan lambang dari *diode Schottky*:



Gambar II.9 Simbol dari dioda Schottky  
([www.engineersgarage.com](http://www.engineersgarage.com))

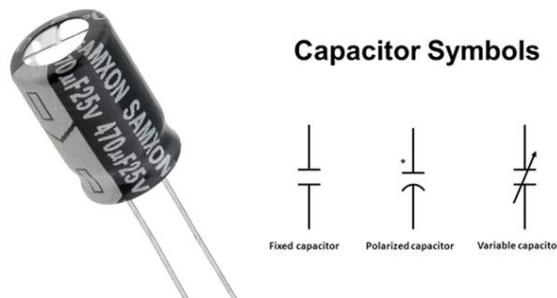
Cara kerja dari dioda schottky ini memanfaatkan schottky barrier yang terbentuk pada persambungan antara metal dan semikonduktor. karakteristik schottky barrier ini bersifat *rectifying* (menyearahkan) dimana pada saat diberikan forward bias dapat dilewati oleh *majority carriers* namun pada saat diberikan *reverse bias*, schottky barrier yang terbentuk menghalangi perpindahan *majority carriers* sehingga tidak dapat dilewati arus. Dioda schottky adalah jenis dioda dengan tegangan jatuh (*drop voltage*) yang rendah jika dibandingkan dengan dioda normal lainnya. Perbedaan mendasar antara dioda schottky dengan dioda normal adalah penggunaan logam semikonduktor (*metal – semiconductor junction*) untuk persimpangan dioda schottky sedangkan dioda normal pada umumnya menggunakan persimpangan semikonduktor (*semiconductor junction*).

Prinsip kerja dioda schottky yaitu pada saat dioda ini tidak diberikan tegangan atau dalam kondisi *unbiased* (kondisi tanpa tegangan), tingkat energi elektron yang berada di sisi semikonduktor tipe-n sangat rendah jika dibandingkan dengan tingkat energi di sisi logam. Dengan demikian, elektron tidak dapat mengalir melalui penghalang persimpangan yang disebut dengan penghalang schottky ini. Namun apabila dioda schottky diberikan tegangan bias maju (*forward bias*), elektron disisi semikonduktor tipe-n akan mendapat energi yang cukup untuk melewati penghalang persimpangan dan masuk ke wilayah logam. Elektron ini masuk kedalam wilayah logam dengan energi yang sangat besar sehingga disebut juga elektron pembawa panas (*hot carrier*). Oleh karena itu, dioda ini sering juga disebut dengan dioda pembawa panas (*hot carrier diode*). Arus listrik akan mengalir melalui dioda schottky secara bias maju (*forward bias*) jika terdapat tegangan maju yang cukup diberikan ke dioda ini. Karena aliran arus listrik ini, akan terjadi kehilangan tegangan kecil pada saat melintasi terminal dioda schottky, kehilangan tegangan inilah yang disebut dengan “*drop*”

*voltage*”. Kehilangan tegangan pada dioda silikon (dioda normal) biasanya adalah sekitar 0,6V hingga 0,7V, sementara *drop voltage* pada dioda schottky hanya sekitar 0,2V hingga 0,3V.

### II.1.6 Kapasitor

Kapasitor adalah suatu alat yang dapat menyimpan energi/ muatan listrik didalam medan listrik, dengan cara mengumpulkan ketidakseimbangan internal dari muatan listrik atau komponen listrik yang mampu menyimpan muatan listrik yang dibentuk oleh permukaan (piringan atau kepingan) yang berhubungan yang dipisahkan oleh suatu penyekat ketika kapasitor dihubungkan pada sebuah sumber tegangan maka piringan atau kepingan terisi elektron. Bila elektron berpisah dari satu plat ke plat lain maka muatan elektron akan terdapat diantara kedua kepingan. Muatan ini disebabkan oleh muatan positif pada plat yang kehilangan elektron dan muatan negatif pada plat yang memperoleh elektron. Kapasitor adalah komponen elektronika yang mempunyai kemampuan menyimpan elektron-elektron selama waktu yang tertentu atau komponen elektronika yang digunakan untuk menyimpan muatan listrik yang terdiri dari dua konduktor dan di pisahkan oleh bahan penyekat (bahan dielektrik) tiap konduktor di sebut keping.



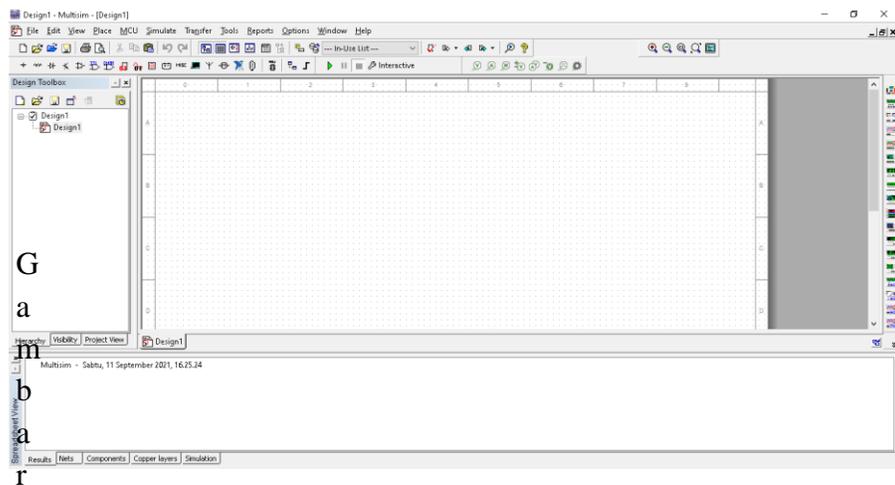
Gambar II.10 Kapasitor  
([www.gesainstech.com](http://www.gesainstech.com))

Kapasitor pada penelitian ini berfungsi sebagai filter dimana Fungsi filter pada catu daya adalah sebagai penyaring arus *ripple* akibat proses penyearahan yang masih terdapat arus AC. Filter yang umum dipakai adalah filter dengan kapasitor. Filter ini mampu membentuk bentuk gelombang tegangan keluarannya bisa menjadi rata.

### II.1.7 Software NI Multisim

NI Multisim (sebelumnya MultiSIM) adalah program penangkapan dan simulasi skematik elektronik yang merupakan bagian dari rangkaian program desain sirkuit, bersama dengan NI Ultiboard. Multisim adalah salah satu dari sedikit program desain rangkaian yang menggunakan simulasi perangkat lunak asli *Berkeley SPICE*.

Multisim pada awalnya dibuat oleh perusahaan bernama *Electronics Workbench*, yang sekarang merupakan divisi dari National Instruments. Multisim termasuk simulasi mikrokontroler (sebelumnya dikenal sebagai MultiMCU), serta fitur impor dan ekspor terintegrasi ke perangkat lunak tata letak papan sirkuit cetak di suite, NI Ultiboard. Multisim banyak digunakan di dunia akademis dan industri untuk pendidikan sirkuit, desain skema elektronik dan simulasi SPICE.



Gambar II.11 Tampilan Multisim

- 1) Menu Bar, di mana anda menemukan perintah untuk semua fungsi.
- 2) *Design Toolbox*, di mana anda dapat menavigasi melalui berbagai jenis file dalam proyek (skema, PCB, laporan), melihat hirarki skema ini dan menampilkan atau menyembunyikan lapisan yang berbeda.
- 3) *Component Toolbar*, berisi tombol yang anda gunakan untuk memilih komponen dari *database* Multisim untuk penempatan dalam skema anda.
- 4) *Standar Toolbar* berisi tombol untuk fungsi umum dilakukan seperti bintang, print, cut, dan paste.
- 5) *View Toolbar* berisi tombol untuk memodifikasi cara layer ditampilkan.
- 6) *Simulation Toolbar* berisi tombol untuk start, stop, dan fungsi simulasi lainnya.
- 7) *Main Toolbar* berisi tombol untuk fungsi Multisim umum. *In Use List* daftar semua komponen yang digunakan dalam desain.
- 8) *Instrumen Toolbar* berisi tombol untuk setiap instrumen.
- 9) *Circuit Window* (atau ruang kerja) adalah di mana anda membangun rangkaian yang akan anda desain.
- 10) *Spreadsheet View* memungkinkan tampilan canggih cepat dan pengeditan parameter termasuk rincian komponen seperti trace kaki, RefDes, atribut dan kendala desain. Anda dapat mengubah parameter untuk beberapa atau semua komponen dalam satu langkah dan melakukan sejumlah fungsi lainnya. (Muhammad Ruswandi Djalal. 2019).

### **II.1.8 Teori arus daya dan tegangan**

#### **1. Arus Listrik**

Arus Listrik merupakan aliran elektron-elektron dari atom ke atom yang terjadi pada sebuah penghantar dengan kecepatan dalam waktu

tertentu. Penyebab timbulnya arus listrik tersebut dikarenakan adanya beda potensial pada kedua ujung penghantar yang terjadi karena mendapatkan suatu tenaga untuk mendorong elektron-elektron tersebut berpindah-pindah tempat. Umumnya gerakan aliran elektron ini akan menuju tempat yang lebih lemah tekanannya. Sedangkan besar kecilnya arus listrik yang terjadi tentu saja bergantung pada pembangkit listrik yang mengeluarkan tenaga tersebut agar alat-alat elektronika dapat kita gunakan maka tenaga dorong listrik yang dibutuhkan haruslah mencukupi dan sesuai dengan yang dibutuhkan. Arus listrik tersebut juga haruslah dapat dialirkan atau diputuskan agar aliran listrik aman dengan kecepatan yang stabil. Kecepatan perpindahan arus listrik ini dapat disebut laju arus yang dapat ditulis dengan  $I$  dengan satuan *ampere*. Dan arus listrik tersebut terjadi jika muatan listrik tersebut mengalir setiap detik. Persamaan Arus

$$I = \frac{V}{R} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

$R$  = Tahanan (Ohm)

$V$  = Tegangan/beda potensial (Volt)

$I$  = Arus (Ampere).

Arus listrik yang mengalir tersebut dari sumber arus listrik tersebut dapat kita bedakan menjadi 2 macam yaitu:

- a. Arus bolak-balik (*Alternating Current*)

Arus bolak-balik (AC) adalah arus yang mengalir dengan polaritas yang berubah dan dimana masing-masing terminal polaritasnya bergantian. Pada umumnya arus AC ini adalah arus yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari seperti alat-alat elektronika yang dipakai didalam rumah kita. Arus listrik ini

dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik yang bernama generator yang ada pada pembangkit listrik.

b. Arus searah (*Direct Current*)

Arus searah (DC) merupakan arus yang mengalir dengan arah yang tetap (konstan) dengan masing-masing terminal selalu tetap pada polaritasnya. Arus ini bisa terjadi karena berasal dari akumulator (*Accu*). Arus listrik searah ini dapat dihasilkan dengan cara merubah arus AC menjadi DC menggunakan *power supply* dengan dioda sebagai penyearah arus yang dapat menyearahkan arus bolak-balik menjadi arus searah.

2. Tegangan

Tegangan sebuah benda bermuatan positif jika benda tersebut kehilangan elektron dan bermuatan negatif kalau benda tersebut kelebihan elektron. Dalam keadaan berbeda muatan inilah munculnya tenaga potensial yang berada di antara benda - benda itu. Karena itu bila sepotong kawat penghantar dihubungkan diantara kedua benda yang berbeda muatan menyebabkan terjadinya perpindahan energi diantara benda - benda itu. Peralihan energi ini berlangsung terus selama ada beda tegangan. Terjadinya tegangan disebabkan adanya beda tiap muatan mempunyai tenaga potensial untuk menggerakkan suatu muatan lain dengan cara menarik atau menolak. Beda tegangan dapat dihasilkan dengan memberikan tekanan listrik dari suatu pembangkit listrik pada salah satu tempat penghantar. Satuan untuk mengukur tegangan listrik adalah volt. Beda tegangan dapat berubah – ubah, dari seperjuta volt sampai beberapa juta volt. Beda tegangan diantara terminal – terminal dari PLN ada yang 110volt atau 220 volt, beda tegangan diantara dua terminal aki adalah 6volt atau 12 volt, sedangkan beda tegangan pada baterai umumnya 1,5 volt. Persamaan tegangan

$$V = I \times R \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

R = Tahanan (Ohm)

V = Tegangan/beda potensial (Volt)

I = Arus (Ampere).

### 3. Daya

Daya listrik adalah energi yang dibawa oleh elektron yang bergerak tiap satuan waktu. Karena ada arus yang mengalir dalam rangkaian maka akan ada konversi energi listrik menjadi energi bentuk lain. Contoh, arus mengalir melalui filamen merubah energi listrik menjadi terang dan energi panas. Daya listrik dapat didefinisikan sebagai ukuran (*rate*) pada saat energi listrik dikonversi dan merupakan kuantitas yang penting dalam rangkaian-rangkaian praktis. Daya merupakan ukuran disipasi energi dalam sebuah alat. Karena tegangan dan arus dapat berubah sesuai fungsi dari waktu, kita segera memperkirakan bahwa nilai sesaat dan nilai rata-rata dapat digunakan untuk menggambarkan disipasi. Konsumsi daya dalam arus AC lebih rumit karena tegangannya sinusoidal dan arusnya berubah secara kontiniu dalam amplitudo, dan dapat keluar atau masuk fase. Ada beberapa sirkuit AC yang sekaligus memiliki komponen resistif dan juga reaktif. Komponen resistif mendisipasi (membuang) energi pada rangkaian AC, sama halnya dengan rangkaian DC. Ada kalanya komponen reaktif tidak mendisipasi energi, tetapi melepaskannya ke sumber daya dalam satu selang siklus tegangan sebanyak energi yang diserap sebelumnya. Hasil yang terjaring adalah energi total yang terdisipasi pada suatu rangkaian AC yang mengandung komponen resistif, dan sama sekali tidak mengandung komponen reaktif. Watt (W) adalah ukuran dasar dari daya listrik. Kesimpulan untuk daya pengukuran pada rangkaian DC dan AC adalah sebagai berikut:

$$P = V \times I \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

$P = \text{Daya/energi listrik (Watt)}$

$V = \text{Tegangan/beda potensial (Volt)}$

$I = \text{Arus (Ampere)}$

(Tampubolon, David.2014)

## II.2 Penelitian Terdahulu/*State of the art*

Berikut adalah penelitian terdahulu yang menjadi rujukan dalam penelitian :

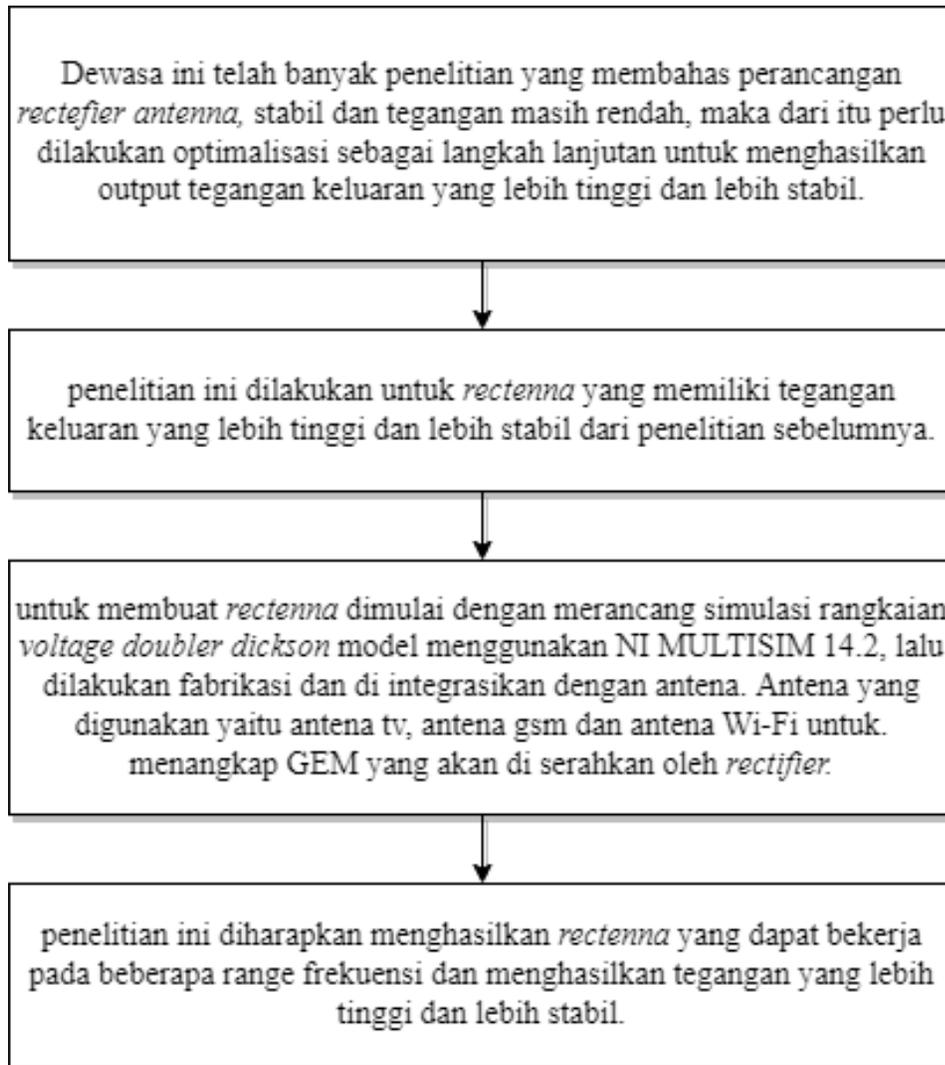
Tabel II. 1. *State of the art*

No	Nama peneliti	Judul penelitian	Tahun penelitian	Metode	Hasil
1	Muhammad Fajar Sahid,	<i>Rancang bangun antenna multifrequency untuk energi HARVESTING.</i>	2020	<i>Voltage doubler 5 stage</i>	Adapun listrik DC paling besar yang dihasilkan oleh <i>inputan</i> antenna WiFi sebesar 1,420V dan tegangan rata-rata 231,7mV/menit dengan jarak 90cm dari sumber frekuensi terbesar dan antenna TV UHF sebesar 648mV dan tegangan rata-rata 478,16mV/menit dengan jarak 0cm dari sumber frekuensi terbesar.
2	Ryan Rivaldo , Heroe	<i>Rectenna ( antenna ) 800 MHz - 2500</i>	2018	<i>Voltage doubler rangkaian</i>	<i>Output</i> maksimal yang dihasilkan

	Wijanto, Yuyu Wahyu	<i>MHz</i>		<i>dickson model</i>	<i>rectenna</i> yaitu pada frekuensi 900 MHz dengan level daya 10 dBm sebesar 474.2 mV pada jarak antenna 30 cm, 345.53 mV pada jarak 1m, dan 208.27 mV pada jarak 1.5 m
3	Budi Herdiana, Heroe Wijanto, dan Iswahyudi Hidayat	<i>Rangkaian Penyearah RF keDC Bertingkat untuk Multi Frekuensi Kerja pada Sistem Pengisian Listrik Secara Nirkabel</i>	2016	<i>Voltage doubler menggunakan pendekatan modifikasi model Dickson (Dickson's models)</i>	tegangan DC sebesar 3,7 V telah diperoleh pada frekuensi kerja 825-960 MHz.
4	Arnandha Rifkiano, Zulfi, Yuyu Wahyu	<i>Perancangan dan implementasi rectenna ( antenna ) pada frekuensi wifi 2,4 GHZ</i>	2016	<i>double diode</i>	Field test yang dihasilkan untuk sumber RF sebesar -10 dBm yaitu sebesar 4,306 mV.
5	Dirton BG Parubak, Rudy Yuwono, S.T., M.Sc., Fauzan Edy Pramono, S.T, M.T	<i>Rancang bangun antena penyearah ( antena ) untuk peemanen energi elektromagnetik pada frekuensi GSM 1800 MHz</i>	2014	<i>Voltage Multiplier</i>	Hasil konversi tegangan DC terbaik yang dilakukan oleh <i>rectenna</i> adalah pada jarak 1meter didepan antena pemancar yaitu sebesar 0.4 mV.

### II.3 Kerangka Pikir

Secara garis besar tahapan yang akan dilakukan untuk menyelesaikan penelitian ini, berdasarkan pada kerangka piker sebagai berikut:

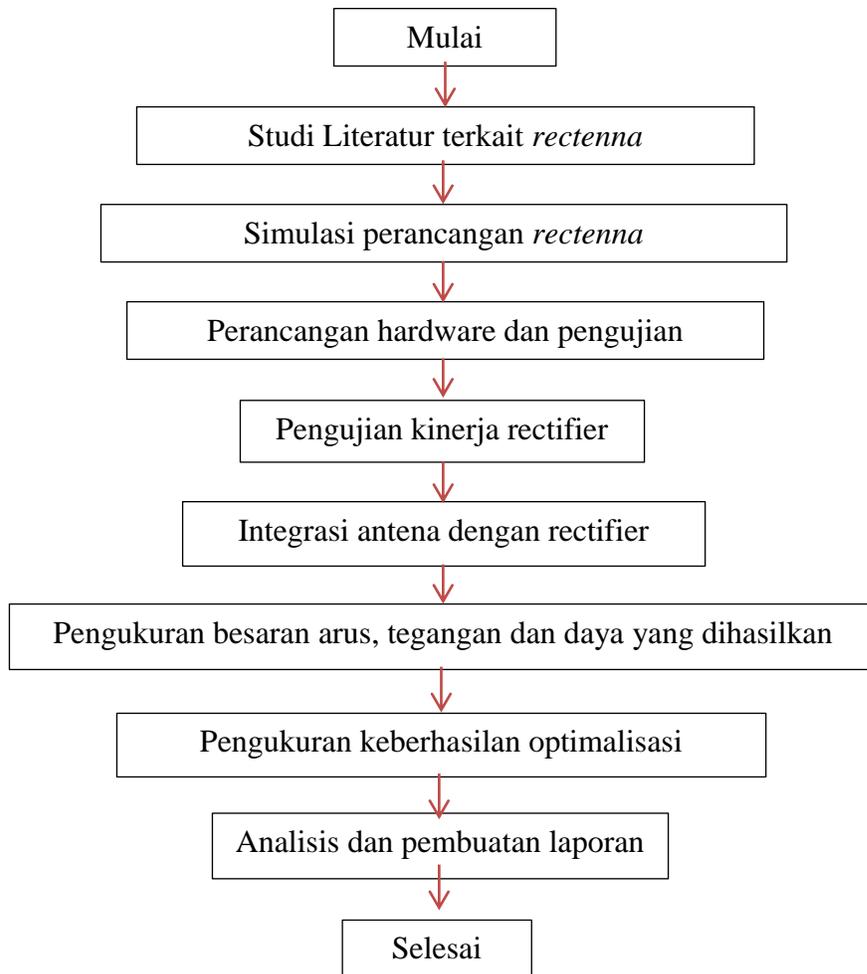


Gambar II.12 Bagan Kerangka Pikir

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### III.1 Bagan Alur Penelitian/Tahapan Penelitian

Penelitian ini bersifat eksperimental melibatkan *software* dan *hardware*. Penelitian diawali dengan membaca beberapa *literatur* yang berkaitan dengan judul yang diusulkan. Kemudian dilakukan simulasi, perancangan *hardware* dan pengujian *rectifier* dan integrasi *antenna* dengan *rectifier*.



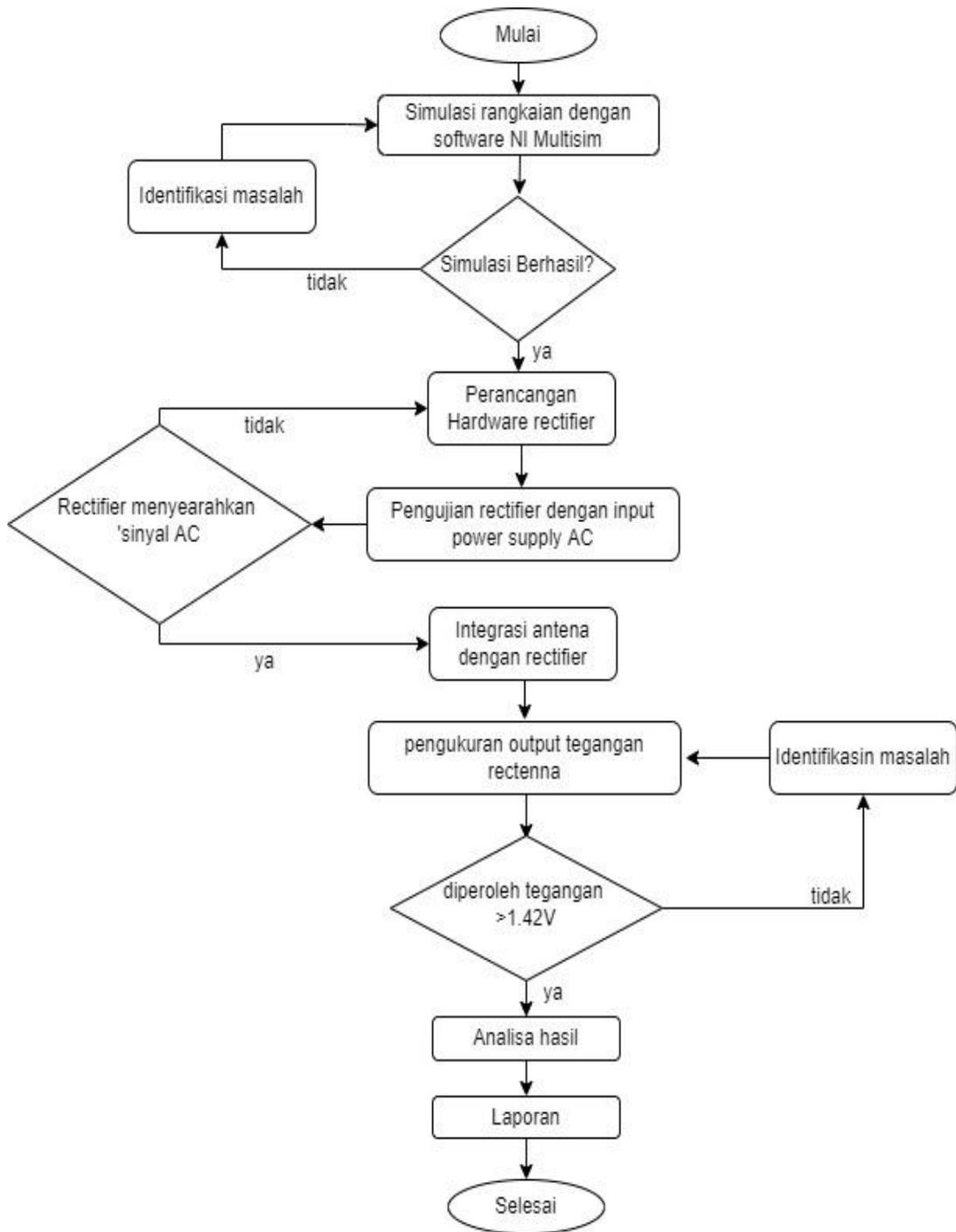
Gambar III.1 Tahapan Penelitian.

### III.2 Rancangan Sistem

Pada penelitian ini, dirancang sebuah skematik rangkaian *rectenna* dimana Gelombang elektromagnetik yang merambat bebas di alam ditangkap menggunakan peranti antenna yang sekaligus menjadi masukan sinyal AC padarangkaian *rectifier*. Rangkaian *rectifier* tersusun dari rangkaian penyearah gelombang penuh menggunakan dioda schotky yang dapat bekerja pada frekuensi tinggi (*GHz*) dan dibuat bertingkat sebagai fungsi *voltage doubler* dengan rangkaian model *dickson* untuk memperoleh tegangan keluaran yang lebih besar. *Output* rangkaian *rectenna* dihubungkan dengan alat ukur multimeter untuk mengukur besar tegangan keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian *rectenna* yang dibuat.

Dalam perancangan rangkaian penyearah (*rectifier*) secara simulasi digunakan *software* NI MULTISIM dengan sumber frekuensi (470-2500 MHz) yang didapatkan dari antenna dan diterima oleh *rectifier* sebagai penyearah, dan sebuah LED sebagai indikator keberhasilan penyearahan yang dihasilkan oleh rangkaian. Pada beban led dipasangkan sebuah alat ukur multimeter untuk melihat besarnya nilai arus, tegangan dan daya yang dihasilkan.

Hasil dari rangkaian diintegrasikan dengan *antenna* sebagai penerima gelombang elektromagnetik menjadi perangkat *rectenna* untuk menangkap/menyerap energi dari gelombang elektromagnetik yang merambat bebas di alam agar dapat digunakan untuk mensupply perangkat-perangkat *mobile* yang berdaya rendah. Adapun bagan alir dari *rectenna* dapat dilihat pada gambar III.3 dibawah sebagai berikut



Gambar III.3 Bagan alir rangkaian *rectenna*.

### III.2.1 Pemilihan Komponen

Pada penelitian ini rangkaian *rectifier* terdiri dari komponen dioda dan kapasitor. Jika pada penelitian sebelumnya menggunakan jenis diode BATT 17, sedangkan dalam penelitian ini digunakan dioda BATT 17-04W, yang juga merupakan dioda schottky seri BATT 17. Adapun perbedaan diantara keduanya jenis dioda BATT 17 memiliki *forward current max* 30mA sedangkan untuk diode BATT 17-04W ini memiliki *forward current max* 140mA dan dapat bekerja pada kondisi *input* frekuensi rendah.

Untuk komponen kapasitor sendiri pada penelitian sebelumnya digunakan kapasitor keramik dengan nilai 100pF pada penelitian ini digunakan kapasitor dengan nilai 30pF. Pada dasarnya komponen kapasitor berfungsi untuk mengurangi *ripple* yang muncul pada tegangan *output*. Jika nilai kapasitor tambahan semakin besar, maka tegangan *output* akan lebih stabil namun dengan kompensasi waktu transient yang lebih lama apalagi dengan bertambahnya jumlah stage pada rangkaian yaitu 6 stage maka waktu yang transient yang dibutuhkan semakin lama.

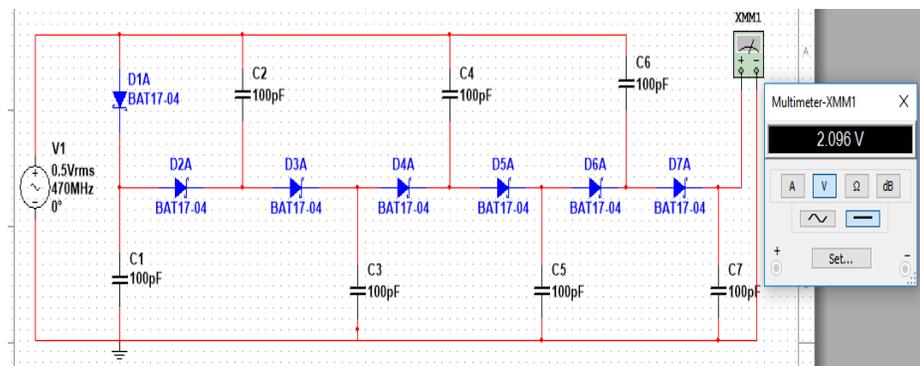
### III.2.2 Perancangan rangkaian rectifier pada NI Multisim 14.2

Pada tahap awal penelitian dilakukan simulasi dengan menggunakan software NI Multisim 4.02 yang dimaksudkan untuk mensimulasikan rangkaian dan komponen yang digunakan. Selain itu juga untuk mengetahui tata letak komponen untuk meminimalisir kesalahan pada saat proses perancangan *hardware rectifier*. Proses pertama pada simulasi adalah dengan memasukkan komponen yang akan digunakan pada rangkaian diantaranya *AC Power* sebagai *input*, *dioda schottky*, kapasitor, *ground* dan multimeter sebagai pengukur

*output* tegangan yang kemudian dihubungkan satu sama lain dengan menyesuaikan model rangkaian *Voltege doubler dickson*.

### III.2.3 Pengujian Hasil simulasi

Setelah memasukkan komponen selanjutnya adalah menjalankan simulasi dan mengukur *output* tegangan dengan cara klik kanan dua kali pada tools multimeter yang kemudian akan menampilkan *output* tegangan dari simulasi rangkaian.



Gambar III.3. Pengujian Hasil simulasi.

Pada gambar III.3 menunjukkan hasil simulasi dengan rangkaian *Voltage doubler model dickson* dengan *input frequency* 470 MHz dan *input* Vrms 0,5 dan *input* komponen yaitu dioda schottky BAT17-04 yang berfungsi sebagai penyearah, kapasitor dengan nilai 100pF dan multimeter sebagai pengukur *output* tegangan.

### III.2.4 Perancangan Hardware rectifier

Setelah melakukan simulasi rangkaian langkah selanjutnya adalah membuat fisik rangkaian atau *fabrikasi* dimana terlebih dahulu membuat desain rangkaian pada PCB menggunakan software Proteus 8 profesional yang kemudian dicetak menjadi bentuk fisik rangkaian.

Setelah pembuatan desain *layout* rangkaian tahap selanjutnya adalah mencetak *layout* pada kertas kingstruk yang disesuaikan dengan

ukuran papan PCB. Kertas yang telah dicetak lalu di potong disesuaikan dengan ukuran papan PCB kemudian ditempelkan lalu dipanaskan dengan setrika agar hasil cetakan pada kertas menempel pada papan PCB, setelah itu dicuci agar sisa kertas bersih dan menyisahkan hasil cetakan yang telah menempel pada papan PCB.

Setelah itu setelah rangkaian merekat pada PCB, kemudian PCB dilarutkan menggunakan cairan menggunakan larutan Ferric Chloric ( $\text{FeCl}_3$ ) yaitu berupa senyawa kimia yang digunakan sebagai katalisator untuk melarutkan lapisan tembaga yang tidak dibutuhkan pada papan PCB.

Pada tahap selanjutnya dilakukan pengeboran pada titik yang telah ada pada PCB yang bertujuan untuk tempat kaki komponen yang akan digunakan pada rangkaian. Kemudian komponen dimasukkan pada jalur rangkaian sesuai dengan gambar konsep rangkaian yang telah dirancang lalu dilakukan penyolderan kaki komponen untuk merekatkan komponen dengan papan jalur rangkaian pada PCB.

### **III.2.5 Pengujian rectifier dengan *Input power supply AC***

Pada tahap ini dilakukan pengujian *hardware rectifier* dengan menggunakan *input Power supply AC* sebagai penyedia *input* daya tegangan yang stabil. *Input power supply AC* digunakan untuk pengujian karena jika dibandingkan dengan gelombang radio atau gelombang elektromagnetik yang level tegangan penerimaannya berubah-ubah *power supply AC* cocok digunakan untuk menguji *output* tegangan dari *rectifier* sebelum diintegrasikan dengan antenna. Pada dasarnya pengujian *rectifier* dengan *input power supply AC* untuk menguji rangkaian *rectifier* bekerja atau tidak sesuai dengan hasil yang didapatkan pada proses simulasi sebelum *rectifier* diintegrasikan dengan *antenna*.

untuk mendapatkan hasil pengujian *rectifier* dengan *input power supply* AC pertama-tama *power supply* dihubungkan dengan konektor *antenna* dengan menggunakan kabel jumper, lalu *power supply* AC di *setting* sesuai *input power* yang diinginkan kemudian diukur menggunakan multimeter digital untuk mengetahui *output* tegangan dari rangkaian *rectifier*.

### III.2.6 Pengukuran *output* tegangan *rectifier antenna*

Pengukuran *output* tegangan *rectifier antenna* dilakukan setelah mengintegrasikan perangkat *antenna* dengan *rectifier* lalu pengukuran *output* tegangan menggunakan multimeter digital. Pada proses ini bertujuan untuk menguji tegangan keluaran yang dihasilkan *rectifier* antena dengan menggunakan *input* dari antena TV, GSM, dan WI-FI sebagai mana perancangan penelitian.

### III.2.7 Pengukuran Optimalisasi *rectifier antenna*

Pada dasarnya penelitian ini merupakan bentuk optimalisasi dari penelitian sebelumnya yaitu “Rancang Bangun *Rectifier Antenna Multifrequency* Untuk Energi *Harvesting*” dimana pada penelitian sebelumnya *output* tegangan yang didapatkan masih rendah dan stabil. Untuk itu pada penelitian ini akan dirancang *rectifier* antena yang diharapkan mampu mendapatkan *output* tegangan yang lebih tinggi dan stabil. Untuk mengetahui keberhasilan dari optimalisasi maka dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$(\%) = \frac{\text{Nilai akhir}-\text{Nilai awal}}{\text{Nilai akhir}} \times 100 \dots \dots \dots (4)$$

Dimana nilai awal merupakan hasil *output* tegangan tertinggi pada penelitian sebelumnya, sedangkan nilai akhir merupakan *output* tegangan tertinggi pada penelitian ini.

### **III.3 Waktu dan Lokasi Penelitian**

#### **III.3.1 Waktu Penelitian**

Penelitian mengenai “Optimalisasi *rectifier antenna multifrequency* untuk *energy harvesting*” dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Fajar Makassar. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli 2021 – Mei 2022.

#### **III.3.2 Lokasi Penelitian**

Adapun tempat penelitian ini dilakukan:

1. Perancangan *rectifier* dilakukan di Laboratorium Komputer Universitas Fajar Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah (ex Racing Center) No. 101.
2. Pengukuran *rectenna input antenna* TV dilakukan di Kompleks Pemancar TV Nasional SulSel yang terletak di Jl. Malino No.25, Pakatto, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan.
3. Pengukuran *rectenna input antenna* GSM dan WI-FI dilakukan disekitaran tower pemancar yang terletak di Jl. Racing center IV.

### **III.4 Alat dan Bahan**

Penelitian ini bersifat eksperimental yang melibatkan *software* dan *hardware*, adapun berupa:

1. *Hardware* yang digunakan untuk proses penelitian, yaitu:
  - a) Laptop ASUS Vivobook X441M, RAM 4 GB 64 bit, digunakan untuk simulasi rangkaian dan perancangan desain *layout* film rangkaian *rectifier*
  - b) Tiga Jenis antena yaitu *antenna* TV, GSM dan WI-FI berfungsi sebagai *input frequency rectifier*.
  - c) LED berfungsi sebagai indikator keberhasilan *rectifier antenna*.
  - d) Dioda schottky BAT17-04W, berfungsi sebagai pengubah/penyearah gelombang dari arus AC ke DC
  - e) Kapasitor keramik 33pF, berfungsi sebagai filter untuk menstabilkan tegangan.
  - f) Kabel *jumper*, berfungsi sebagai penghubung antara komponen.
  - g) *Multimeter digital digital heles UX-838TR* multimeter digunakan untuk mengukur tegangan yang dihasilkan oleh *rectifier* antena
  - h) Papan PCB berfungsi sebagai tempat atau wadah rangkaian direkatkan
  - i) Amplas halus digunakan untuk menghilangkan sekaligus membersihkan rangkaian yang tak dibutuhkan pada papan PCB.
  - j) *Pelarut FeCl3* Digunakan untuk melarutkan papan PCB.
  - k) Cutter dan gergaji halus digunakan untuk memotong papan PCB
  - l) Setrika digunakan untuk menempelkan jalur rangkaian pada kertas kingstruk ke papan PCB
  - m) Kertas kingstruk, digunakan sebagai medium merekatkan jalur *rectifier* ke papan PCB.
  - n) Solder digunakan untuk merekatkan komponen ke rangkaian *rectifier*.
  - o) Adaptor *Antenna Edge* Digunakan untuk menghubungkan *antenna*
  - p) Terminal Blok 10 mm, berfungsi sebagai penghubung antara dengan beban *output*.
  - q) Spidol Permanen Snowman type M, Digunakan untuk menebalkan dan menambal jalur rangkaian papan PCB.

- r) Penghisap timah *desoldering* digunakan untuk menghilangkan atau mengurangi timah pada rangkaian dipapan PCB.
  - s) Bor tangan mini rayden 12-18V digunakan untuk melubangi papan PCB.
2. Software yang digunakan untuk proses penelitian, yaitu: NI Multisim dan Advanced design system untuk merancang simulasi rangkaian *rectifier* dan Proteus V.8 Profesional untuk membuat layout rangkaian.

### **III.5 Metode Pengumpulan Data**

Pada pengembangan penelitian ini, menggunakan metode pengumpulan data eksperimental, yang diawali dengan membaca *literatur* yang berkaitan dengan judul lalu mensimulasikan dan merancanginya. Adapun data-data yang digunakan yaitu berupa data primer dan sekunder.

1. Data Primer

Data yang didapatkan dari hasil simulasi rangkaian penyearah () menggunakan *software* NI Multisim. Data yang diperoleh meliputi mengenai rangkaian penyearah (sumber frekuensi, arus, tegangan dan daya yang dihasilkan)

2. Data Sekunder

Data yang diperoleh atau dikumpulkan peneliti dari sumber *literature* yang sudah ada seperti buku, jurnal, dan sebagainya, yang meliputi perancangan rangkaian penyearah beserta parameternya.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### IV.1 Hasil

Untuk mencapai hasil dari penelitian perlu dilakukan pengujian dan pengukuran yang dilakukan dengan beberapa tahap yaitu simulasi rangkaian, pengujian hasil simulasi, lalu dilanjutkan dengan perancangan *hardware rectifier*, pengujian *hardware rectifier* menggunakan *power supply AC*, integrasi *antenna* dengan *rectifier* dan yang terakhir adalah pengukuran *rectifier antenna*. *rectifier* akan diintegrasikan dengan tiga jenis *antenna* yaitu *antenna TV*, *GSM* dan *WI-FI* sebagai *input*. Ada banyak aspek yang memengaruhi keberhasilan penelitian optimalisasi *rectifier antenna* multifrekuensi untuk energi *harvesting* seperti kestabilan jaringan sebagai *input AC*, pemilihan komponen dan rugi-rugi daya pada rangkaian.

Pada tahap awal penelitian telah digunakan dioda schottky HSMS 2822 sebagai komponen utama, namun hasil yang didapatkan tidak maksimal sehingga dilakukan penggantian komponen *diode Schottky* ke BAT17-04. Adapun kendala-kendala yang di temui pada tahap awal penelitian menggunakan *diode Schottky* HSMS 2822 adalah tidak tersedianya komponen pada software NI Multisim 14.02 sehingga digunakan *software advanced system design* kemudian kendala lain adalah *output* tegangan yang dihasilkan sebesar 0.08mV. Berikut uraian hasil pengujian dan pengukuran *rectifier* dengan komponen *diode Schottky* HSMS 2822.



Pada proses ini digunakan 7 buah *diode schottky* HSMS 2822 dan 7 buah kapasitor dengan nilai 100pF dengan rangkaian *voltage doubler dickson* model. Tahap ini dilakukan pengujian dengan mengintegrasikan *antenna* TV, GSM dan WI-FI dengan hasil *output* DC sebagai berikut:



Gambar IV. 3 *Output antenna* TV rangkaian *rectifier* dengan komponen *diode Schottky* HSMS 2822.

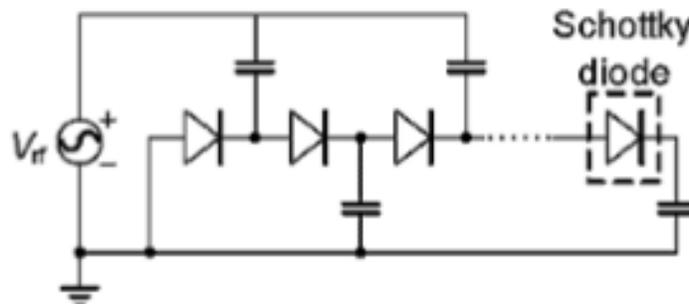
*Output* DC yang didapatkan dari hasil pengujian *rectifier* dengan komponen *diode Schottky* HSMS 2822 yang diintegrasikan dengan *antenna* TV sebesar 0,08mV. Hasil *output* ini tentu jauh dari hasil yang diharapkan, salah satu faktor yang mempengaruhi adalah kesalahan memilih komponen *diode schottky* dimana diode HSMS 2822 kurang maksimal bekerja pada *input* frekuensi rendah.

Dikarenakan hasil yang didapatkan pada pengujian sebelumnya *output* tegangan sangat rendah maka selanjutnya dilakukan identifikasi ulang dan dilakukan pergantian komponen dan penambahan jumlah *stage* pada rangkaian dimana komponen diode schottky HSMS 2822 diganti dengan dioda schottky

BAT17-04W dengan function dual series 4V, 130mA silicon schottky diode dan tipe SOT-23, serta mengganti kapasitor dengan nilai 30pF.

#### IV.1.1 Simulasi Rangkaian rectifier menggunakan software NI Multisim

Tahap pertama yaitu melakukan simulasi *rectifier* rangkaian *voltage doubler dicksons* yang akan disimulasikan dengan menggunakan *software* NI Multisim 14.2 dimana perangkat lunak ini dapat menyimulasikan kerja sistem yang diinginkan dalam kondisi yang bisa diatur. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari rangkaian *rectifier* serta menguji tegangan *output* dari rangkaian. Tahap awal dari proses simulasi adalah dengan memasukkan komponen diantaranya, dioda schottky BAT17-04W dengan *function* dual series 4V, 130mA silicon schottky diode dan *type* SOT-23, kapasitor dengan nilai 30pF, *power* AC, ground, dan multimeter. Kemudian dihubungkan sesuai dengan model rangkaian yang digunakan yaitu rangkaian *voltage doubler dicksons* yang dapat mengubah *output* sinyal AC menjadi tegangan DC.



Gambar IV.4 Rangkaian *voltage doubler dickson* model.  
(Rivaldo, 2018)

Simulasi ini menggunakan 3 *input power* AC yaitu -5 dBm, 0 dBm dan 5 dBm. Satuan yang digunakan pada penggunaan sinyal RF menggunakan satuan dBm. dBm merupakan singkatan dari *decibel milivolt*, merupakan satuan perbandingan level sinyal. Jika nilainya

positif maka disebut faktor penguatan (gain), jika nilainya negatif disebut redaman (loss). Namun karena pada aplikasi multisim 14.2 tidak terdapat *input* tegangan AC dalam satuan dBm maka besar nilai *input* di konversikan ke satuan volt dengan persamaan berikut:

$$V(\text{rms}) = \sqrt{Z}/1000 \times 10^{\left(\frac{P(\text{dBm})}{20}\right)} \dots\dots\dots(5)$$

- Jika diketahui  $P(\text{dBm}) = 5$

$$Z = 50\Omega$$

Maka

$$\begin{aligned} V(\text{rms}) &= \sqrt{Z}/1000 \times 10^{\left(\frac{P(\text{dBm})}{20}\right)} \\ &= \sqrt{50}/1000 \times 10^{\left(\frac{5}{20}\right)} \\ &= \sqrt{0,05} \times 10^{(0,25)} \\ &= 0,224 \times 1,778 \\ &= 0,390 \text{ V} \end{aligned}$$

- Jika diketahui  $P(\text{dBm}) = 0$

$$Z = 50\Omega$$

Maka

$$\begin{aligned} V(\text{rms}) &= \sqrt{Z}/1000 \times 10^{\left(\frac{P(\text{dBm})}{20}\right)} \\ &= \sqrt{50}/1000 \times 10^{\left(\frac{0}{20}\right)} \\ &= \sqrt{0,05} \times 10^{(0)} \\ &= 0,224 \times 1 \\ &= 0,224 \text{ V} \end{aligned}$$

- Jika diketahui  $P(\text{dBm}) = -5$

$$Z = 50\Omega$$

Maka

$$\begin{aligned} V(\text{rms}) &= \sqrt{Z}/1000 \times 10^{\left(\frac{P(\text{dBm})}{20}\right)} \\ &= \sqrt{50}/1000 \times 10^{\left(\frac{-5}{20}\right)} \\ &= \sqrt{0,05} \times 10^{(-0,25)} \\ &= 0,224 \times 0,562 \\ &= 0,126 \text{ V} \end{aligned}$$

Hasil konversi dBm ke Volt diuraikan pada tabel berikut:

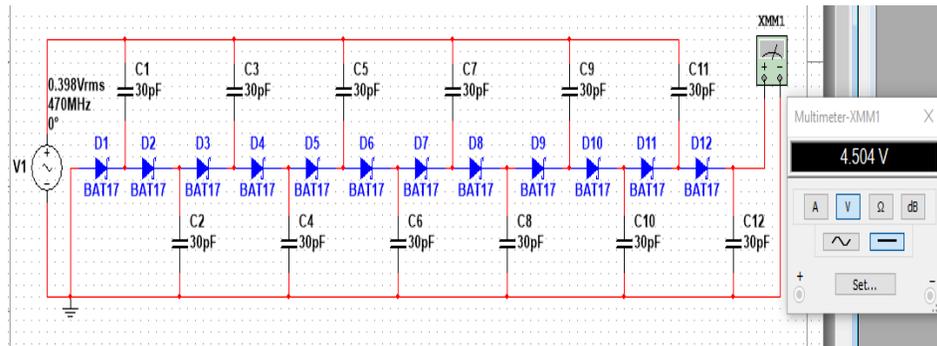
Tabel IV.1. Tabel persamaan *input* power AC

No	Power AC (dBm)	Power AC (Volt)
1.	5	0,398
2.	0	0,224
3.	-5	0,126

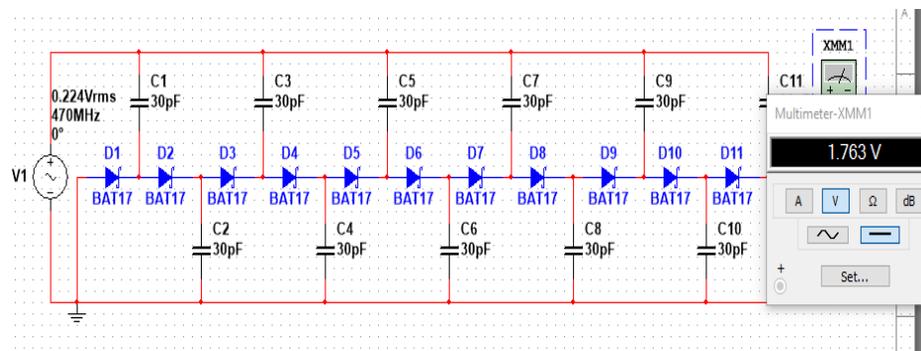
Dari hasil diatas maka didapatkan hasil simulasi dengan 3 *inputan*  $V_{\text{smr}}$  yang berbeda-beda dengan rentan waktu per 1 menit setiap pengujian 1 *input*  $V_{\text{rms}}$ . Pada simulasi ini dimulai pada *input* 470MHz atau frequency TV sebagai berikut:

#### IV.1.1.1 Simulasi frekuensi 470MHz

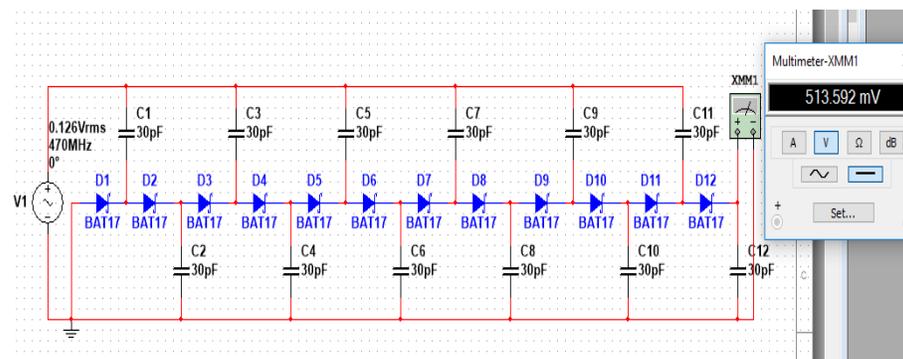
Berikut hasil dari simulasi rangkaian *rectifier* dengan *input* frekuensi 470MHz:



(a)



(b)



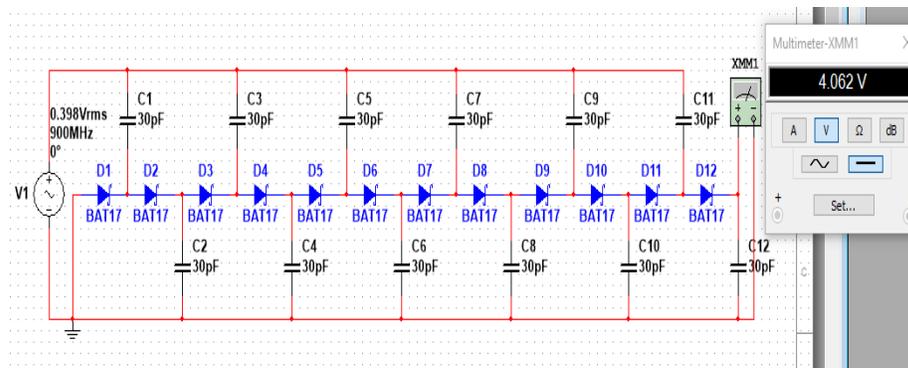
(c)

Gambar IV. 5 Hasil pengujian menggunakan *input* frekuensi 470MHz dengan 0,398 Vrsm(a), 0,224 Vrms (b) dan 0,126 (c).

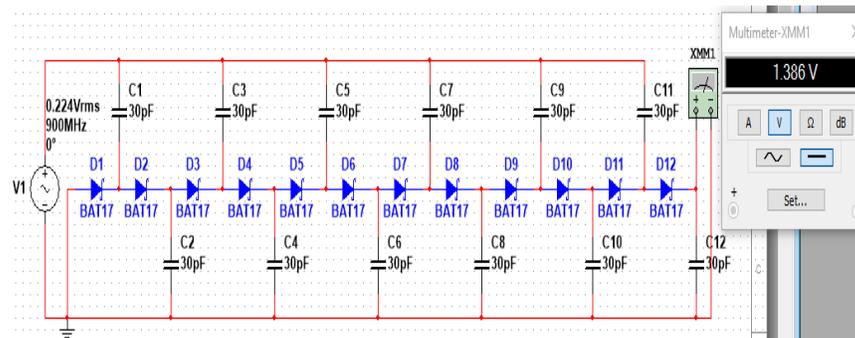
Pada gambar IV.5 (a) *input* frekuensi 470MHz dan  $V_{rms}$  0,398 dengan menggunakan susunan rangkaian Dickson models yang dihubungkan dengan multimeter sebagai alat ukur didapatkan hasil *output* DC sebesar 4.504 Volt. (b) *input* frekuensi 470MHz dan  $V_{rms}$  0,224 didapatkan hasil *output* DC sebesar 1.763 V. (c) *input* frekuensi 470MHz dan  $V_{rms}$  0,126 mendapatkan hasil *output* DC sebesar 513.592 mV.

#### IV.1.1.2 Simulasi frekuensi 900MHz

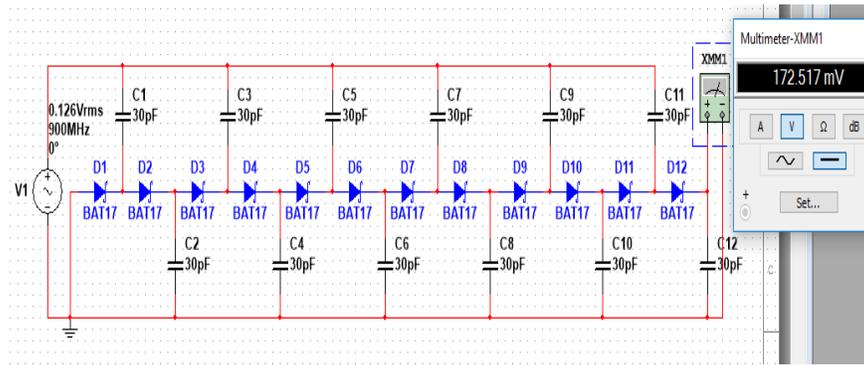
Berikut Hasil simulasi rangkaian menggunakan software NI Multisim14.2 dengan *input* frekuensi 900MHz:



(a)



(b)



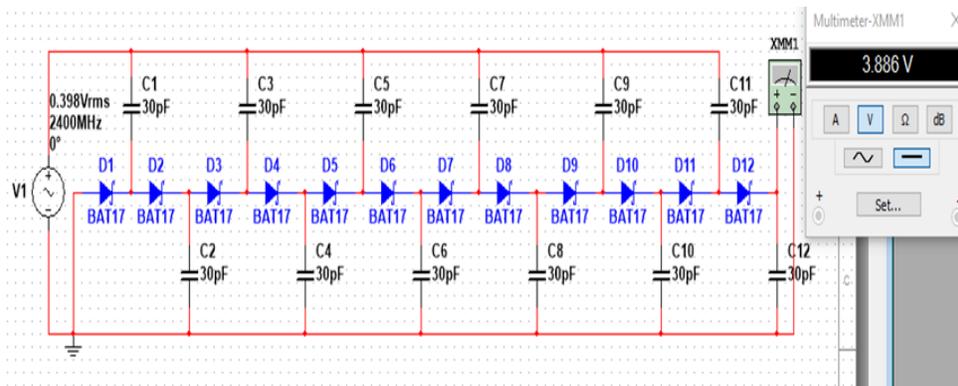
(c)

Gambar IV. 6 Hasil Pengujian Menggunakan *Input* Frekuensi 900MHz dengan 0,398 Vrsm(a), 0,224 Vrms (b) dan 0,126 (c).

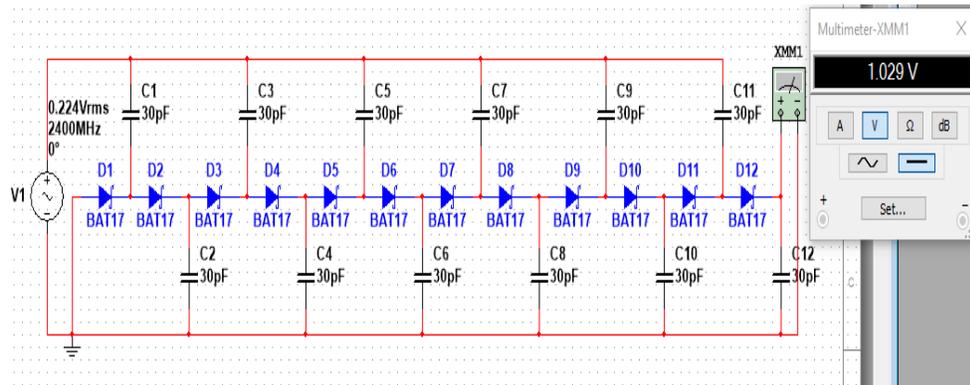
Pada Gambar IV.6 di dapatkan hasil simulasi dengan *input* frekuensi GSM 900MHz (a) 0,398 Vrms dapatkan *output* tegangan sebesar 4.062 V. (b) untuk *input* 0.224 Vrms didapatkan *output* tegangan DC sebesar 1.386 V dan (c) untuk *input* 0,126 Vrms didapatkan *output* tegangan sebesar 172.517 mV.

#### IV.1.1.3 Simulasi frekuensi 2400MHz

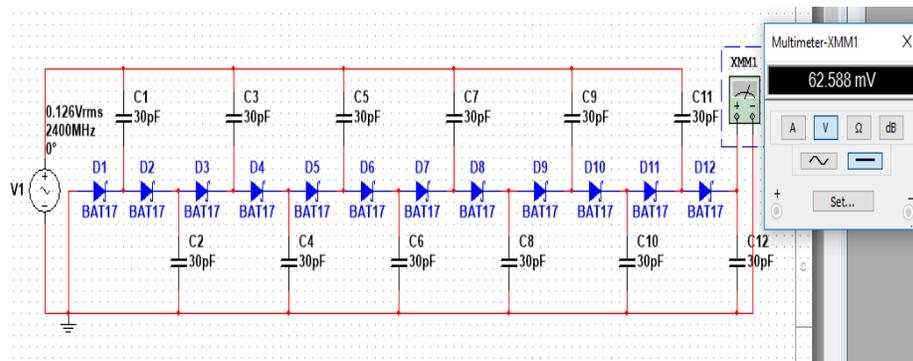
Berikut adalah hasil simulasi dengan *input* frekuensi 2400MHz:



(a)



(b)



(c)

Gambar IV. 7 Hasil simulasi Menggunakan *Input AC* Frekuensi 2400MHz dengan (a) *input* 0,398Vrms, (b) *input* 0,224Vrms dan (c) 0,126Vrms.

Pada Gambar IV.7 didapatkan hasil simulasi dengan *input* frekuensi WI-FI 2400 MHz (a) 0,398 Vrms dapatkan *output* DC sebesar 3.886 V. (b) untuk *input* 0.224 Vrms didapatkan *output* DC sebesar 1.029 V dan (c) untuk *input* 0,126 Vrms didapatkan *output* DC sebesar 62.588 mV.

**IV.1.2 Pengujian dan perbandingan hasil simulasi rangkaian *rectifier* menggunakan *software* NI Multisim**

Berikut tabel hasil simulasi rangkaian *rectifier* dengan *software* NI Multisim 14.2:

Tabel IV.2. Tabel hasil simulasi rangkaian dengan *software* NI Multisim

No	Input frekuensi D(MHz)	Power AC (Vrms)	Output Rectifier (DC)/menit
1.	a r i h 470 MHz	0,398	4.504 V
		0,224	1.763 V
		0,126	513.592 mV
2.	a s i l 900 MHz	0,398	4.062 V
		0,224	1.368 V
		0,126	172.517 mV
3.	s i m u l 2400 MHz	0,398	3.886 V
		0,224	1.029 V
		0,126	62.588 mV

Dari hasil *rectifier* dengan *software* NI Multisim 14.2 dapat disimpulkan:

- a. Susunan rangkaian *rectifier* berbanding lurus dengan besar tegangan *output* yang dihasilkan. Semakin banyak jumlah susunan rangkaian maka semakin besar *output* DC yang diperoleh.
- b. Jumlah susunan rangkaian juga memiliki batas, dikarenakan semakin banyak susunan rangkaian maka rugi-rugi yang dihasilkan juga semakin besar.
- c. Tegangan terendah yang dihasilkan selama aplikasi dijalankan dalam waktu 1 menit adalah 62.588 mV dengan *input power* AC 0,126 Vrms pada frekuensi 2400MHz
- d. Tegangan tertinggi yang dihasilkan selama aplikasi dijalankan dalam waktu 1 menit adalah 4.504 V dengan *input power* AC 0,398 pada frekuensi 470 MHz.

Untuk mengetahui keberhasilan dari optimalisasi dalam hal simulasi rangkaian maka perlu dilakukan perbandingan *output* tegangan keluaran dari simulasi penelitian sebelumnya yaitu “RANCANG BANGUN RECTIFIER ANTENNA MULTIFREQUENCY UNTUK ENERGI HARVESTING”. Berikut tabel perbandingan *output* tegangan dari simulasi sebelum dan setelah dilakukan optimalisasi:

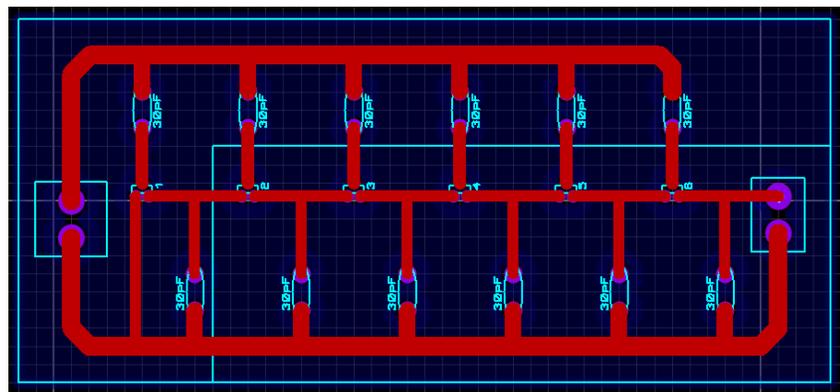
Tabel IV.3. Tabel perbandingan keluaran simulasi rangkaian sebelum dan setelah simulasi

<b>Input Frekuensi dengan V(rms) 0,5</b>	<b>Sebelum Optimalisasi</b>	<b>Setelah Optimalisasi</b>
470 MHz	4,328 V	4.504 V
900MHz	-	4.062 V
2400MHz	3,886 V	3.955 V

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa *output* tegangan dari simulasi lebih tinggi setelah dilakukan optimalisasi. Dari hasil *output* tegangan yang didapatkan maka bisa dilanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu perancangan *hardware rectifier*.

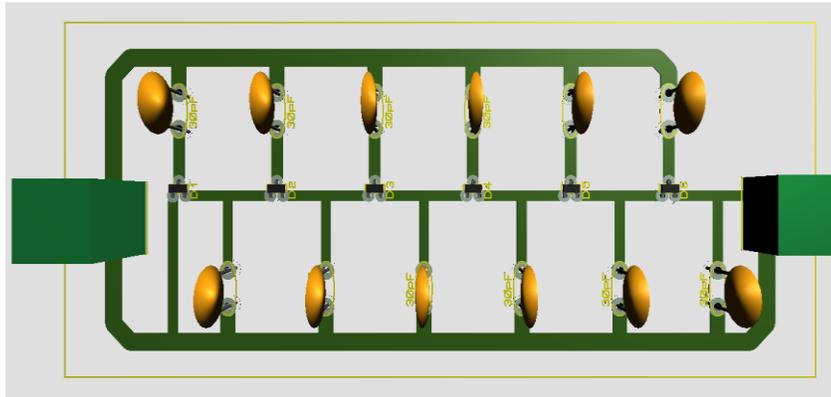
#### IV.1.3 Perancangan hardware rectifier

Setelah melalui tahapan simulasi rangkaian langkah selanjutnya adalah membuat *hardware* rangkaian atau membuat fisik rangkaian dimana terlebih dahulu membuat *layout* film dari rangkaian *rectifier* yang disesuaikan dengan skematik rangkaian pada tahap simulasi. Pada tahap ini perancangan model rangkaian menggunakan *software Proteus 8 profesional*.



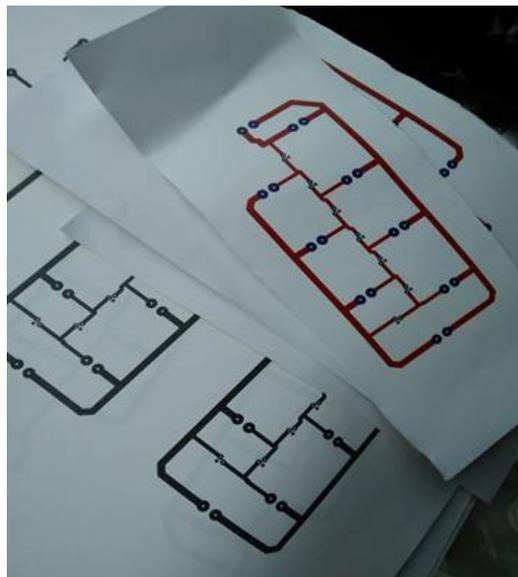
Gambar IV.8 Layout PCB menggunakan software Proteus 8 profesional.

Proses perancangan model rangkaian pada *software* proteus 8 profesional hampir sama dengan proses simulasi rangkaian dengan *software* NI Multisim dimana pertama-tama memasukkan komponen yang akan digunakan, lalu membuat jalur rangkaian yang berfungsi sebagai penghubung antar komponen.



Gambar IV.9 Layout 3D PCB menggunakan software Proteus 8 profesional

Selain desain *layout* film *rectifier*, untuk memastikan bentuk fisik *rectifier* pada *software* proteus 8 profesional rangkaian *rectifier* dapat diproyeksikan kedalam bentuk 3D. Setelah pembuatan desain *layout* rangkaian tahap selanjutnya adalah mencetak *layout* pada kertas kingstruk yang di telah disesuaikan dengan ukuran papan PCB.



Gambar IV.10 *Layout* film rangkaian yang telah dicetak pada kertas kingstruk.

Kertas yang telah dicetak lalu di potong disesuaikan dengan ukuran papan PCB kemudian ditempelkan lalu dipanaskan dengan strika agar hasil cetakan pada kertas menempel pada papan PCB, setelah itu dicuci agar sisa kertas bersih dan menyisahkan hasil cetakan yang telah menempel pada papan PCB.



Gambar IV.11 Rangkaian pada kertas kingstruk direkatkan pada papan PCB dengan cara dipanaskan menggunakan setrika.

Setelah itu rangkaian yang merekat pada PCB, kemudian PCB dilarutkan menggunakan cairan menggunakan larutan Ferric Chloric ( $\text{FeCl}_3$ ) yaitu berupa senyawa kimia yang digunakan sebagai katalisator untuk melarutkan lapisan tembaga yang tidak dibutuhkan pada papan PCB. Pada proses ini harus memperhatikan detail lapisan rangkaian agar jalur rangkaian tidak terpotong ataupun tidak saling merekat. Selain itu dikarenakan komponen dioda yang digunakan berukuran sangat kecil maka perlu diperhatikan jalur penghubung antar dioda.



Gambar IV.12 Proses pelarutan PCB dengan larutan *Ferric Chloric* ( $\text{FeCl}_3$ ).

Pada tahap selanjutnya dilakukan pengeboran pada titik yang telah ada pada PCB yang bertujuan untuk memasukkan kaki komponen yang akan digunakan pada rangkaian.



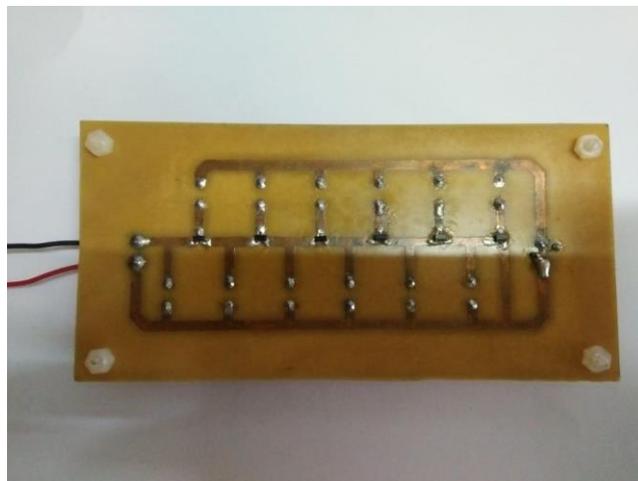
Gambar IV.13 Proses pengeboran pada papan PCB.

Setelah proses pengeboran selanjutnya proses penyolderan kaki komponen untuk merekatkan komponen dengan papan PCB yang selanjutnya dihubungkan dengan Antena sebagai *input* AC.



Gambar IV.14 Proses penyolderan rangkaian dan komponen.

Setelah proses penyolderan maka rangkaian *rectifier* didiamkan beberapa saat agar sisa penyolderan merekat dengan sempurna, kemudian rangkaian *hardware rectifier* siap untuk dilakukan pengujian.



Gambar IV.15 Hasil cetak rangkaian *rectifier*

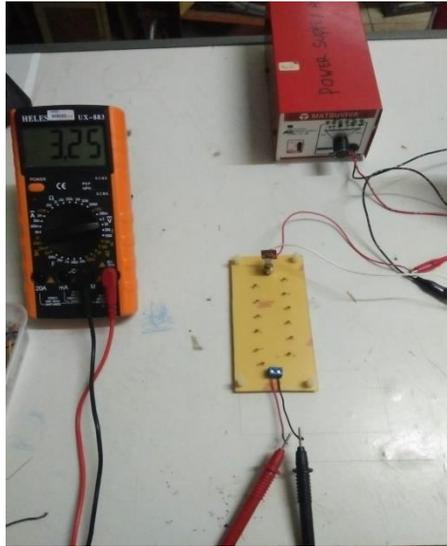
Setelah melakukan proses penyolderan selanjutnya pasang kabel *jumper* pada komponen terminal blok yang berfungsi sebagai penghubung dengan multimeter digital.

#### **IV.1.4 Pengujian *hardware rectifier* dengan *input power supply AC***

Pada tahap ini dilakukan pengujian *hardware rectifier* dengan menggunakan *input Power supply AC* sebagai penyedia *input* daya tegangan yang stabil. *Input power supply AC* digunakan untuk pengujian karena Jika dibandingkan dengan gelombang radio atau gelombang elektromagnetik yang level tegangan penerimaannya berubah-ubah *power supply AC* cocok digunakan untuk menguji *output* tegangan dari *rectifier* sebelum diintegrasikan dengan antena. Untuk mendapatkan hasil pengujian *rectifier* dengan *input power supply* pertama-tama *power supply* dihubungkan dengan konektor *antenna* dengan menggunakan kabel *jumper* lalu di ukur menggunakan multimeter digital untuk mengetahui *output* tegangan dari rangkaian *rectifier*.

##### **IV.1.2.1 *Input power supply 5 V***

Pada tahap pertama pengujian *rectifier* dengan *input power supply AC* digunakan *input* sebesar 5 V dimana *power supply AC* dihubungkan pada adapter *antenna* yang terdapat pada *rectifier* kemudian *rectifier* dihubungkan dengan multimeter digital untuk mengukur *output* tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian *rectifier*, dari pengukuran tersebut didapatkan *output* tegangan tertinggi dalam estimasi waktu 1 menit sebagai berikut:

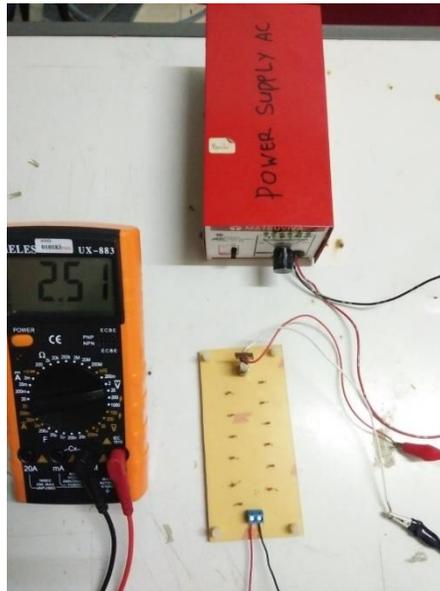


Gambar IV. 16 Pengukuran *Output rectifier* menggunakan *input Power Supply 5 V*.

Pada *input 5 v power supply* untuk rangkaian *rectifier* didapatkan *output* tegangan tertinggi sebesar 3,25 V, dimana *power supply* dihubungkan dengan *rectifier* menggunakan konektor *antenna* kemudian *output* DC diukur dengan menggunakan multimeter digital.

#### ***IV.1.2.2 Input power supllly AC 3 V***

Pada tahap pengujian *rectifier* dengan *input power supply AC* digunakan *input* dengan nilai 3 V pengukuran ini dilakukan dalam rentan waktu 1 menit dan mendapatkan *output* tegangan tertinggi sebagai berikut:

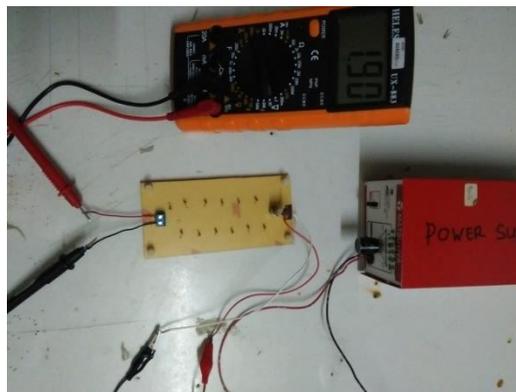


Gambar IV.17 Pengukuran *output rectifier* menggunakan *input Power Supply AC 3 V*.

Untuk pengujian *rectifier* dengan menggunakan *power supply AC* dengan *input 3V* didapatkan hasil *output* tegangan sebesar 2,51 Volt. Pada proses ini *rectifier* dihubungkan dengan *power supply AC* dengan *input 3 V* dengan rentan waktu pengujian 1 menit.

#### ***IV.1.2.3 Input power suplly AC 1 V***

Pada pengujian *rectifier* pada dengan *power supply AC* dengan *input 1Volt* didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar IV.18 Pengukuran *output rectifier* menggunakan *input Power Supply AC 1 V*

Pada pengujian *rectifier* dengan menggunakan *power supply* AC dengan *input* 1 V didapatkan *output* tegangan tertinggi sebesar 1,90 volt. Proses pengujian *rectifier* menggunakan *input power supply* AC dilakuakn sekama rentan waktu 1 menit. Hasil dari pengujian menggunakan *input power supply* AC digambarkan pada tabel berikut:

Tabel IV.4. Tabel hasil pengujian *rectifier* dengan *input power supply* AC

NO	<i>Input Power supply</i> AC (V)	<i>Output</i> (DC)
1.	5 V	3,25 V
2.	3 V	2,51 V
3.	1 V	1,90 V

Dari hasil pengujian *rectifier* dengan menggunakan *input power supply* AC dapat diuraikan kesimpulan sebagai berikut:

- a. Rangkaian *rectifier* berfungsi optimal sesuai yang diharapkan.
- b. Rangkaian *rectifier* bekerja sesuai dengan hasil simulasi, dapat dilihat dari *output* yang didapatkan dari hasil simulasi dan hasil pengujian dengan *input power supply* yang tidak jauh berbeda.
- c. Tegangan tertinggi yang dihasilkan dari *input power supply* 5 volt dengan rentang waktu 1 menit sebesar 3,25 V.
- d. Tegangan terendah yang dihasilkan dari *input power supply* 1 volt dengan rentang waktu 1 menit sebesar 1,90 V.

### IV.1.3 Pengukuran Rectifier *Antenna* pada ruang Indoor

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya salah satu faktor yang mempengaruhi keberhasilan adalah *input* frekuensi dari *antenna* yang stabil, pada tahap ini dilakukan pengukuran pada lokasi *indoor* dan *outdoor* sebagai bahan perbandingan hasil *output* DC yang dihasilkan dari *rectifier* ketika berada jauh dan dekat dari sumber frekuensi. Berikut adalah hasil pengukuran *rectifier* pada ruangan *indoor*.

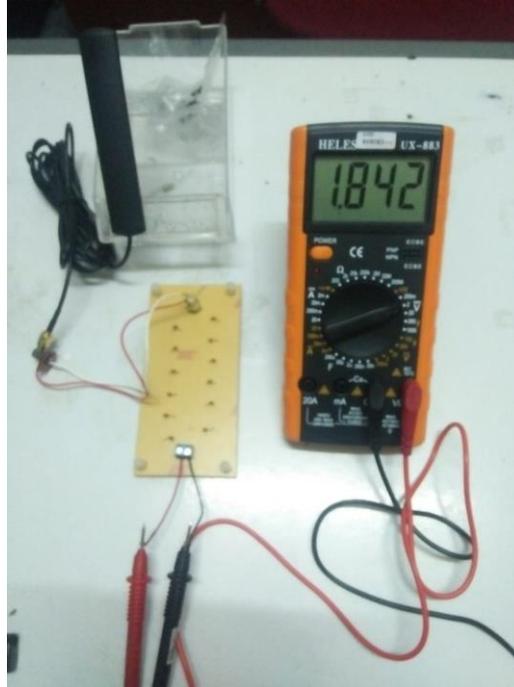
#### IV.1.3.1 Pengukuran *antena indoor* dengan *input antenna TV*



Gambar IV.19 Hasil Pengukuran *Output* tegangan *rectifier* menggunakan *antena TV Indoor*.

Pada tahap pengukuran *Output* DC dengan menggunakan *antenna TV Indoor* dilakukan di Lab Elektro Universitas Fajar. *Antenna* di integrasikan dengan *rectifier* menggunakan konektor *antenna* kemudian di ukur dengan menggunakan multimeter digital. Pengukuran ini dilakukan dengan rentang waktu 1 menit dan mendapatkan *Output* DC tertinggi sebesar 938 mV

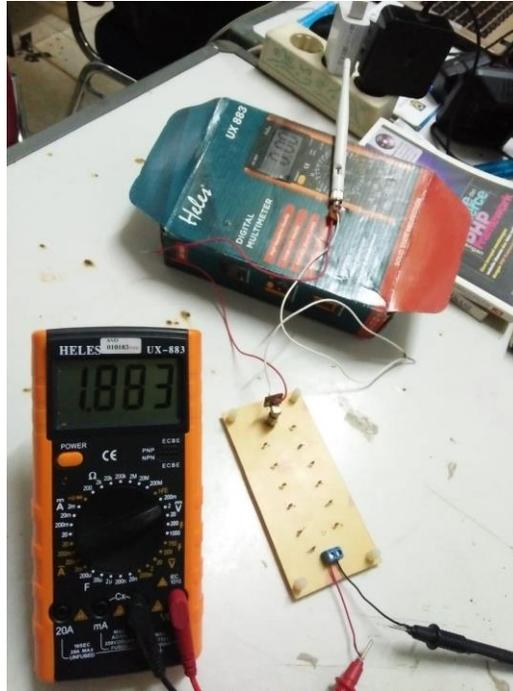
#### IV.1.3.2 Pengukuran antenna indoor dengan input antenna GSM



Gambar IV.20 Hasil Pengukuran *output* tegangan *rectifier* menggunakan antenna GSM indoor.

Pada pengukuran *rectenna* dengan *input antenna GSM indoor* dengan rentang waktu 1 menit didapatkan hasil *output* DC tertinggi sebesar 1,842 V. Pada tahap ini hasil *output* DC yang didapatkan *rectifier* sesuai dengan hasil simulasi rangkaian pada *software* NI Multisim 14.02.

#### IV.1.3.3 Pengukuran antenna indoor dengan input antenna WI-FI



Gambar IV.21 Hasil Pengukuran *output* tegangan *rectifier* menggunakan antenna WI-FI Indoor.

Pada pengukuran *rectifier* dengan *input antenna* WI-FI indoor dengan rentang waktu 1 menit didapatkan hasil *output* tegangan tertinggi sebesar 1,883 V. Pada tahap ini hasil *output* tegangan yang didapatkan *rectifier* sesuai dengan hasil simulasi rangkaian pada *software* NI Multisim 14.02.

Pengujian *rectifier antenna* dilakukan dengan mengintegrasikan *antenna* dengan rangkaian *rectifier* dan diukur dengan multimeter digital yang dilaksanakan di Lab Teknik elektro Universitas Fajar dalam hal ini pada ruangan *indoor* dengan estimasi waktu masing-masing 1 menit. Hasil *output* tegangan dari rangkaian *rectifier antenna* yang di uji coba dalam ruangan *indoor* digambarkan pada tabel berikut:

Tabel IV.6. Tabel hasil pengukuran *output* tegangan DC *indoor*

NO	Antena yang digunakan	<i>Output</i> DC rangkaian rectifier (V)
1.	Antena TV	938 mV
2.	Antena GSM	1842 V
3.	Antena WI-FI	1883 V

Dari pengukuran *rectifier antenna* dalam ruang *indoor* dapat diuraikan kesimpulan sebagai berikut:

- a. *Output* tertinggi dari pengukuran *rectifier antenna* dalam ruangan *indoor* dalam hal ini lab Teknik elektro Universitas Fajar didapatkan dari *input antenna* WI-FI sebesar 1,883 V
- b. Sedangkan *output* terendah didapatkan dari *input antenna* TV sebesar 938 mV
- c. Faktor yang mempengaruhi *output* DC yang dihasilkan adalah kemampuan *antenna* dalam menangkap frekuensi dalam ruang *indoor*.

#### IV.1.4 Pengukuran Rectifier Antenna lokasi outdoor

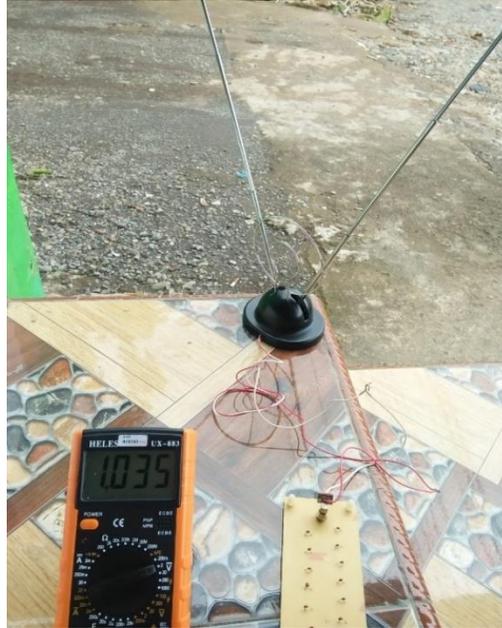
Ada banyak variabel yang dapat mempengaruhi *output* tegangan dari *rectifier antenna* salah satunya adalah jarak antena penerima dan pemancar, besar sinyal di udara yang diterima oleh antena, daya pancar dari *antenna* pemancar serta rugi – rugi yang didapat dari perangkat yang digunakan. Pada tahap ini dilakukan pengujian *rectifier antenna* di beberapa titik pemancar frekuensi untuk mengetahui pengaruh hasil *output rectifier* ketika dilakukan pengukuran dengan jarak yang lebih dekat dengan pemancar *antenna*

#### ***IV.1.4.1 Pengukuran *rectenna* lokasi outdoor dengan input antenna TV***

Pengukuran *rectenna* dengan *input antenna TV outdoor* dilakukan Kompleks Pemancar TV Nasional di SulSel yang terletak di Jl Malino No.25, Pakatto, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan dengan memanfaatkan antenna pemancar RF televisi yang berada di daerah tersebut. Pengujian ini dilakukan dengan menempatkan *rectenna* berada pada jarak kurang lebih 60-100 meter dari tower pemancar pengukuran *rectenna* dilakukan diarea sekitaran tower pemancar TV diharapkan mendapatkan *output* tegangan yang lebih tinggi.



Gambar IV.22 Tower pemancar TV pada Kompleks Pemancar TV Nasional Sul-Sel



Gambar IV.23. Hasil Pengukuran *Output* DC *rectenna* lokasi *outdoor* menggunakan Antena TV

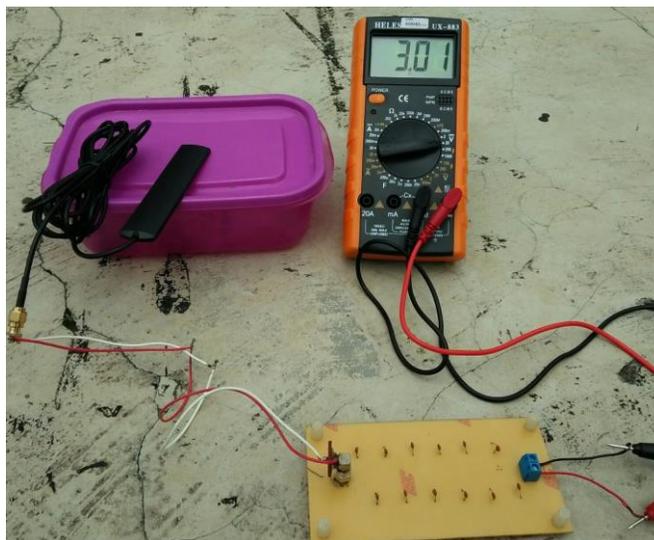
Pada pengukuran *rectenna* dengan *input antenna* TV *outdoor* dengan rentang waktu 1 menit didapatkan hasil *output* tegangan tertinggi sebesar 1,035 V. hasil ini jauh lebih baik dibandingkan pengukuran *rectenna* pada ruang *indoor* selain itu *output* tegangan yang didapatkan lebih tinggi dari penelitian sebelumnya yang juga menggunakan *input antenna* TV 470 MHz.

#### ***IV.1.4.2 Pengukuran rectenna lokasi outdoor dengan input antenna GSM***

Pengukuran *output rectifier* yang diintegrasikan dengan *antenna* GSM diukur pada lokasi *outdoor* sekitaran tower pemancar BTS atau *Base Transceiver Station* yang diharapkan mampu mendapatkan *output* tegangan yang lebih tinggi. Pengujian *rectenna* dilakukan didekat salah satu tower pemancar BTS yang terletak di Jl. Racing center IV.



Gambar IV.24. Tower pemancar BTS (*Base Transceiver Station*) yang terletak di Jl. Racing center IV.

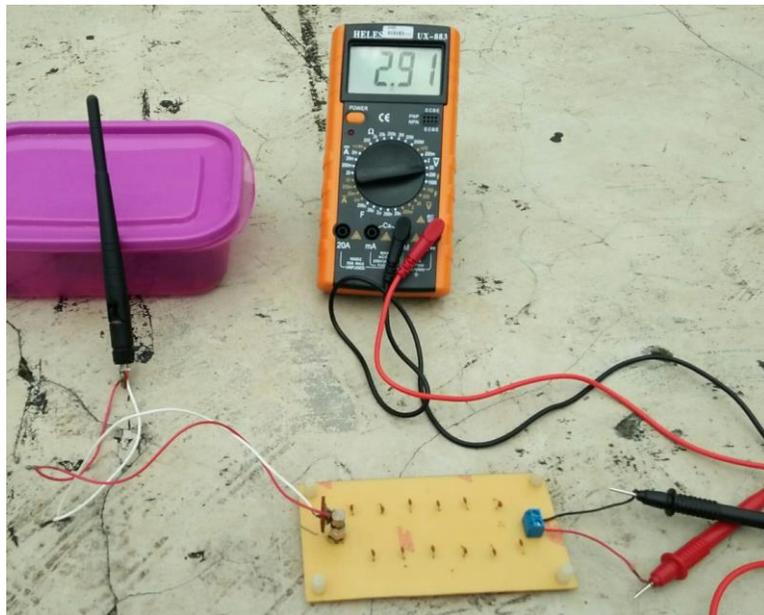


Gambar IV.25. Hasil Pengukuran *Output* tegangan *rectenna* lokasi *outdoor* menggunakan Antena GSM

Pengukuran *rectifier antenna* dengan *antenna* GSM sebagai *input* dan pengukuran dilakukan *outdoor* dengan rentang waktu 1 menit didapatkan hasil *output* tegangan tertinggi sebesar 3,010 V. pengukuran dilakukan pada jarak 50 – 100meter dari BTS (*Base Transceiver Station*).

#### ***IV.1.4.3 Pengukuran rectenna lokasi outdoor dengan input antenna WI-FI***

Pada pengujian *rectifier antenna* dengan *antenna* WI-FI sebagai *input* dilakukan sekitaran tower pemancar BTS (*Base Transceiver Statio*) yang terletak di Jl. Racing center didapatkan *output* tegangan sebagai berikut.



Gambar IV.26. Hasil Pengukuran *Output* tegangan *rectenna outdoor* menggunakan Antena WI-FI sebagai *input*.

Pada pengukuran *rectenna* dengan *input antenna* WI-FI *outdoor* dengan rentang waktu 1 menit didapatkan hasil *output* tegangan tertinggi sebesar 2,910 V sebagaimana gambar diatas. Adapun hasil pengukuran *rectenna* pada lokasi *outdoor* digambarkan pada tabel berikut:

Tabel IV.7. Tabel hasil pengukuran *output* tegangan DC lokasi

<b>NO</b>	<b>Antena yang digunakan</b>	<b>Output DC rangkaian rectifier (V)</b>
1.	Antenna TV	1,035 V
2.	Antena GSM	3,010 V
3.	Antena WI-FI	2,910 V

Dari hasil pengukuran *output rectifier* pada lokasi *outdoor* dapat diuraikan kesimpulan sebagai berikut:

- a. *Output* tertinggi dari pengukuran *rectifier antenna* pada lokasi *outdoor* didapatkan dari *input antenna* GSM sebesar 3,010 V
- b. Sedangkan *output* terendah didapatkan dari *input antenna* TV sebesar 1,035 V
- c. Pada pengukuran *rectenna* dilakukan diberbagai tempat disekitaran area tower pemancar.

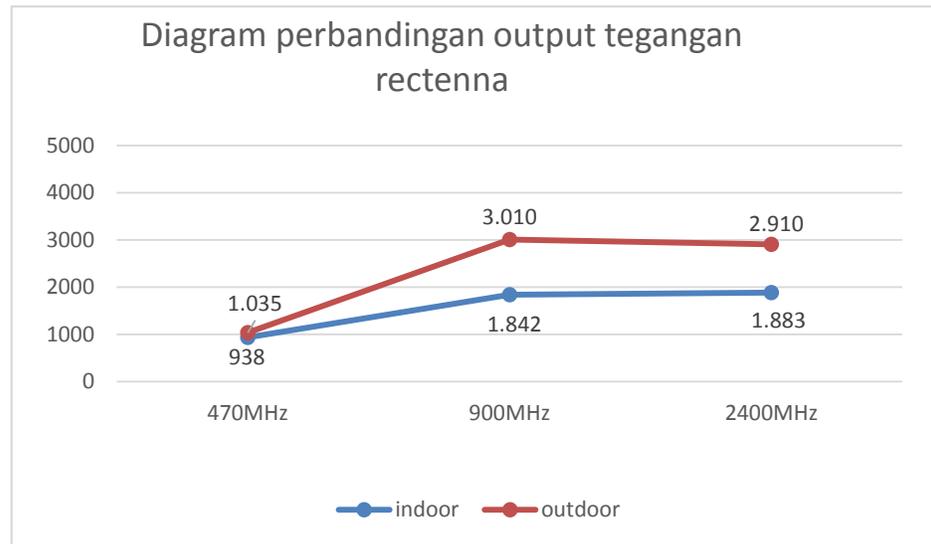
Perbandingan *output* tegangan hasil pengukuran *rectenna* pada lokasi *indoor* dan *outdoor* diuraikan pada tabel dan diagram berikut.

Tabel IV.8. Tabel perbandingan *output* tegangan pengukuran *rectenna indoor* dan *outdoor*

<b>No</b>	<b>Antena yang digunakan</b>	<b>Output DC rangkaian rectifier</b>
1.	Antena TV	1,035 V
2.	Antena GSM	3,010 V
3.	Antena Wi-Fi	2,910 V

Untuk mengetahui peningkatan kinerja rectifier dapat dilihat pada diagram perbandingan *output* tegangan rectifier yang diuji pada ruang indoor dan outdoor berikut:

Gambar IV.27. Grafik perbandingan pengukuran *indoor* dan *outdoor* keluaran



tegangan *rectifier antenna*.

Pada gambar grafik perbandingan diatas diketahui bahwa semakin rendah frekuensi kerja antena dan semakin dekat jarak *rectenna* dengan sumber frekuensi, maka semakin besar nilai *output* tegangan *rectenna*, ini bisa dibuktikan dari pengukuran *rectenna* pada ruang *indoor* dan lokasi *outdoor* dalam hal ini area sekitaran pemancar.

## IV.2 Pembahasan

Pada pengujian *rectifier antenna* dilakukan dengan empat tahap yaitu simulasi, pengujian *input* power suply AC, pengukuran *rectifier* pada ruang *indoor* dan pengukuran *rectifier* antena pada lokasi *outdoor* (jarak terdekat dengan pemancar). Untuk mengetahui hasil optimalisasi dari penelitian ini perlu di uraikan perbandingan dengan penelitian sebelumnya, berikut beberapa uraian perbandingan spesifikasi dan *output* tegangan dengan penelitian sebelumnya.

#### IV.2.1 Perbandingan spesifikasi *rectifier*

Setelah melakukan serangkaian proses analisis dan tinjauan literasi penelitian sebelumnya, termasuk dalam hal spesifikasi dari *rectifier* demi mendapatkan hasil *output* tegangan yang diinginkan, salah satunya adalah hal pemilihan model rangkaian dan komponen yang digunakan dimana pada penelitian sebelumnya menggunakan model rangkaian *voltage multiplier* pada penelitian ini digunakan model rangkaian *voltage doubler* model dicksons, berikut tabel perbandingan spesifikasi rangkaian *rectifier*:

Tabel IV.9. Tabel perbandingan spesifikasi rangkaian *rectifier*

<b>Spesifikasi</b>	<b>SEBELUM OPTIMALISASI</b>	<b>SETELAH OPTIMALISASI</b>
Model rangkaian	<i>Voltage multiplier</i>	<i>Voltage doubler Dickson</i>
Jumlah Stage	<i>5 stage</i>	<i>6 stage</i>
Komponen Diode Schottky	<i>BAT17(function, Single, 4V Silicon Schottky Diode SOT-23)</i>	<i>BAT17-04W(Dual 4V, 130mA Silicon Schottky Diode SOT-143)</i>
Komponen Kapasitor	Kramik 100Pf	Kramik 33 Pf
Ukuran	Panjang 11 cm, lebar 5,9 cm	Panjang 14 cm, lebar 7,4 cm
<i>Input</i> frekuensi	470MHz dan 2400MHz	470MHz, 900MHz dan 2400MHz

#### IV.2.2 Perbandingan *Output* tegangan rectenna

Tabel IV.10. Tabel perbandingan *output* rectenna sebelum dan setelah dioptimalisasi

<b>Frequency (MHz)</b>	<b>SEBELUM OPTIMALISASI</b>	<b>SETELAH OPTIMALISASI</b>	<b>KEBERHASILAN OPTIMALISASI</b>
470	648mV	1,035 V	37.3%
900	-	3,010 V	
2400	1,420V	2,910 V	51.2%.

Dari beberapa tahapan diatas dan perbandingan data didapatkan hasil *output* tegangan tertinggi sebesar 3,010 V pada *input* frekuensi *antenna* 900MHz pada *antenna* GSM, sedangkan *output* tegangan tertinggi yang didapatkan pada penelitian sebelumnya sebesar 1,420 V dengan *input* frekuensi 2400MHz. Selain itu *output* tegangan rata-rata dalam penelitian ini lebih stabil. Sebagaimana diketahui bahwa nilai tegangan keluaran selalu berubah-ubah dan sangat dipengaruhi oleh jarak dengan sumber frekuensi selain itu pemilihan komponen dan pemilihan model rangkaian menjadi variable yang berpengaruh untuk mendapatkan *output* tegangan *rectifier*.

Penelitian ini merupakan bentuk optimalisasi dari penelitian sebelumnya. Jika pada penelitian sebelumnya *output* tegangan yang dihasilkan pada frekuensi 2400MHz sebesar 1,420 V sedangkan pada penelitian ini *output* tegangan yang dihasilkan sebesar 2,910 V untuk frekuensi 470MHz pada penelitian sebelumnya didapatkan *output* tegangan sebesar 648mV pada penelitian ini didapatkan *output* tegangan sebesar 1,035 V. maka dari itu untuk mengetahui persentasi

keberhasilan optimalisasi dari kedua frekuensi diatas maka dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

- frekuensi 2400MHz

$$(\%) = \frac{\text{Nilai akhir}-\text{Nilai awal}}{\text{Nilai akhir}} \times 100 \dots \dots \dots (4)$$

$$\begin{aligned} (\%) &= \frac{2,910 \text{ V}-1,420 \text{ V}}{2,910 \text{ V}} \times 100 \\ &= \frac{149.000 \text{ V}}{2,910 \text{ V}} \\ &= 51.2\% \end{aligned}$$

- frekuensi 470MHz

$$(\%) = \frac{\text{Nilai akhir}-\text{Nilai awal}}{\text{Nilai awal}} \times 100 \dots \dots \dots (4)$$

$$\begin{aligned} (\%) &= \frac{1,035 \text{ V}-0,648 \text{ V}}{1,035 \text{ V}} \times 100 \\ &= \frac{38,700 \text{ V}}{1,035 \text{ V}} \\ &= 37.3\% \end{aligned}$$

Dari persamaan diatas didapatkan hasil optimalisasi 51.2% dari frekuensi 2400MHz sedangkan pada frekuensi 470MHz didapatkan 37.3%. hasil ini menunjukkan bahwa penelitian setelah optimalisasi mendapatkan peningkatan *output* tegangan dari *rectifier* antena yang telah dirancang.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1 Kesimpulan**

Berdasarkan pada hasil pengujian dan proses analisis data disimpulkan sebagai berikut:

1. Perancangan *rectifier antenna* dengan menggunakan model rangkaian *voltage double dicksons* model diperoleh tegangan yang lebih tinggi dan stabil
2. Pada penelitian ini berhasil mengoptimalisasi penelitian sebelumnya melalui berbagai tahap uji coba, dapat dilihat dari *output* tegangan tertinggi yang dihasilkan mencapai 3.010 V dimana telah melampaui *output* tegangan tertinggi penelitian sebelumnya yaitu sebesar 1.420 V.
3. Selisih perbandingan *output* tegangan tertinggi yang didapatkan dari tugas akhir ini sebesar 51.2% pada frekuensi 2400MHz dengan *output* tegangan sebesar 2.910 V.

#### **V.2 Saran**

Pada penelitian ini spesifikasi *antenna* yang digunakan masih tergolong kurang maksimal sehingga perlu diintegrasikan dengan *antenna* yang lebih baik serta pemilihan komponen dasar seperti *diode schottky* dan kapasitor harus disesuaikan dengan spesifikasi *antenna* yang digunakan sehingga menghasilkan *output* tegangan yang lebih maksimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Buwarda, S., & Azis, A. (2021). Rancang Bangun Multi Frekuensi *Rectenna* Untuk Energy *Harvesting* Gelombang Elektromagnetik. *PROtek: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 8(1), 49-53.
- Hamka Ikhlasul Amal NZ, Arfianto Fahmi, Y. W. (2016). *PERANCANGAN DAN REALISASI SISTEM RF ENERGY HARVESTING PADA FREKUENSI UHF*. 12(1), 61–72.
- Herdiana, Budi, Heroe Wijanto, and Iswahyudi Hidayat. "Rangkaian Penyearah RF ke DC Bertingkat untuk Multi Frekuensi Kerja pada Sistem Pengisian Listrik Secara Nirkabel." *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi* 14.2 (2016): 40-44.
- Hidayat, R., Elektro, J. T., Tinggi, S., & Mandala, T. (n.d.). *Sumber Daya Wireless Untuk Menghasilkan Energi*. 109–114.
- Hijriani, E., Maruddani, B., & Sandi, E. (2018). RANCANG BANGUN *RECTIFIER* PADA *RECTENNA* UNTUK TRANSFER DAYA WIRELESS PADA FREKUENSI 2, 45 GHZ. *JURNAL PENDIDIKAN VOKASIONAL TEKNIK ELEKTRONIKA (JVOTE)*, 1(1), 6-9.
- Journal, Y. P., Fisika, J., & Diponegoro, U. (2016). Studi *Rectenna (Rectifier Antenna)* Untuk Mengubah Gelombang Elektromagnetik Rf Menjadi Sumber Tegangan Dc. *Youngster Physics Journal*, 5(1), 27–34.
- khabbaz, A., Sobhi, J., & Daei Koozehkanani, Z. (2018). A sub-mW 2.9-dB noise figure Inductor-less low noise amplifier for wireless sensor network applications. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 93(March), 132–139. <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2018.06.013>*Rehabilitation*, 20(1), 87–108. <https://doi.org/10.1080/14768320500230185>

- Parubak, P., Putra, D. B. G. P., Gurion, B., Yuwono, R., & Purnomo, M. F. E. (2014). Rancang Bangun Antena Penyearah (*Rectifier Antenna*) Untuk Pemanen Energi Elektromagnetik Pada Frekuensi GSM 1800 MHz. *Jurnal Mahasiswa TEUB*, 2(5).
- Rifkiano, A., Zulfi, Z., & Wahyu, Y. (2016). Perancangan Dan Implementasi *Rectenna (rectifier Antenna)* Pada Frekuensi Wifi 2.4 Ghz. *eProceedings of Engineering*, 3(3).
- Rivaldo, R., Wijanto, H., & Wahyu, Y. (2018). *RECTENNA ( ANTENNA ) 800 MHz - 2500 MHz RECTENNA ( ANTENNA ) 800 MHz - 2500 MHz*. 5(2), 2281–2288.
- Yuwono, R., & Saputra, H. (2018). Rancang Bangun Switch *Rectifier Antenna* Sebagai Otomatisasi Pemanen Energi Elektromagnetik Pada Frekuensi 2.4 GHz. *Jurnal EECCIS*, 10(2), 63-67.