

## RECTIFYING ANTENNA (RECTENNA) UNTUK SINYAL TV UHF 470 – 806 MHz

### RECTIFYING ANTENNA (RECTENNA) FOR UHF TV SIGNAL 470 – 806 MHz

Fadhli Iwanda<sup>1</sup>, Zulfi, S.T., M.T.<sup>2</sup>, Dr. Ir. Yuyu Wahyu M.T.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[fadhliiwanda@student.telkomuniversity.ac.id](mailto:fadhliiwanda@student.telkomuniversity.ac.id), <sup>2</sup>[zulfitelu@telkomuniversity.ac.id](mailto:zulfitelu@telkomuniversity.ac.id), <sup>3</sup>[yuyu@ppet.lipi.go.id](mailto:yuyu@ppet.lipi.go.id)

#### Abstrak

*Energy harvesting* sedikit banyaknya telah membantu permasalahan krisis energi yang memiliki sumber daya terbatas. Teknik ini mengambil sumber energi eksternal dari suatu sistem yang ketersediaannya cukup berlimpah seperti sinar matahari, angin, dan gelombang radio. Selain sinar matahari, saat ini gelombang radio merupakan sumber energi yang bisa dibbilang tidak terbatas karena ketersediaan sumber pancar yang banyak baik dari BTS, akses poin WLAN, maupun stasiun televisi. Salah satu aplikasi *energy harvesting* yang memanfaatkan gelombang radio sebagai sumber adalah *rectifying antenna (rectenna)*. Gelombang radio yang ada di udara bebas diterima oleh antena dan kemudian diubah menjadi tegangan DC.

Penelitian tugas akhir ini merancang sistem *rectenna* sederhana yang terdiri dari antena dan *rectifier*. Antena yang dirancang merupakan antena mikrostrip vivaldi berjenis *tapered slot* dan bisa beroperasi pada sinyal TV UHF frekuensi 470 – 806 MHz. Rangkaian *rectifier* yang dirancang berjenis *voltage multiplier* dengan menggunakan kombinasi dioda dan kapasitor sebagai penyusunnya. Dioda yang digunakan yaitu dioda Schottky tipe BAT 17. Dioda ini mampu beroperasi pada rentang frekuensi UHF (300 – 3000 MHz).

Antena vivaldi hasil realisasi berbahan substrat FR-4 epoxy dengan dimensi 200 mm x 250 mm. Hasil realisasi antena vivaldi memiliki gain yang paling tinggi pada rentang frekuensi 470 – 806 MHz sebesar 2,4 dB. VSWR antena ini memiliki nilai paling tinggi sebesar 1,86 dan *bandwidth* lebih dari 400 MHz. Sistem *rectenna* berhasil mengkonversi gelombang radio menjadi tegangan DC senilai 20,2 mV dengan daya kirim 19 dBm dari antena pancar dengan jarak 60 cm pada frekuensi 806 MHz. Tegangan DC yang paling rendah dihasilkan pada frekuensi 470 MHz sebesar 0,4 mV dengan daya kirim 19 dBm dari antena pancar dengan jarak 60 cm.

Kata Kunci: Antena Vivaldi, *Energy Harvesting*, *Rectenna*, *Rectifier*, *Voltage Multiplier*

#### Abstract

*Energy harvesting more or less has helped energy crisis problems about limited resources. This technique takes an external source of energy from a system with abundant availability such as sunlight, wind and radio waves. In addition to sunlight, today radio waves are an almost unlimited source of energy due to the availability of many transmit sources such as BTS, WLAN access points, and television stations. One application of energy harvesting that utilizes radio waves as a source is rectifying antenna (rectenna). Radio waves in the free air are received by the antenna and then converted to DC voltage.*

*This final project research designs a simple rectenna system consisting of antennas and rectifiers. The designed antenna is a tapered slot vivaldi microstrip antenna and can operate on 470 - 806 MHz UHF TV signals. The rectifier circuit is designed to be a voltage multiplier by using a combination of diodes and capacitors as their constituents. The diode used is the BAT 17 type Schottky diode. The diode is capable of operating in the UHF frequency range (300 - 3000 MHz).*

*Realization of Vivaldi antenna consists of FR-4 epoxy as a substrate with dimension 200 mm x 250 mm. The results of Vivaldi antenna realization have the highest gain in the 470 - 806 MHz frequency range of 2.4 dB. VSWR of this antenna has the highest value of 1.86 and bandwidth over 400 MHz. The rectenna system successfully converts radio waves into DC voltages worth 20.2 mV with 19 dBm of radiated power from transmit antennas with a distance of 60 cm at 806 MHz frequency. The lowest DC voltage is generated at 470 MHz frequency of 0.4 mV with 19 dBm of radiated power from the transmit antenna 60 cm apart.*

Keywords: *Energy Harvesting*, *Rectenna*, *Rectifier*, *Vivaldi Antenna*, *Voltage Multiplier*

#### 1. Pendahuluan

Energi merupakan suatu entitas yang selalu kita jumpai dan rasakan di dalam kehidupan sehari – hari. Ada berbagai macam perwujudan energi yang sering dijumpai oleh kita seperti energi gerak, energi panas, energi kimia, energi cahaya, energi bunyi, energi listrik, dan lainnya. Tidak hanya itu, energi yang paling sering kita gunakan dan rasakan manfaatnya saat sekarang adalah energi elektromagnetik atau yang sering disebut dengan gelombang radio. Pemanfaatan gelombang radio sudah banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang diantaranya bidang medis[1], kuliner[2], dan telekomunikasi[3] tentunya.

Telekomunikasi yang berkembang pesat di era ini telah menyediakan layanan komunikasi nirkabel dengan gelombang radio sebagai pembawa informasinya. Pemancar gelombang radio seperti *Base Transceiver Station (BTS)*,

stasiun radio, stasiun TV, dan akses poin pada WLAN memancarkan gelombang radio dengan frekuensi yang berbeda-beda. Perangkat-perangkat tersebut memancarkan gelombang radio selama 24 jam sehari dan ini mengakibatkan ketersediaan energi gelombang radio yang berlimpah. Kondisi seperti ini memberikan peluang untuk pemanfaatan lain pada aplikasi gelombang radio.

Sementara itu, dengan ketersediaan platform telekomunikasi nirkabel yang merambah ke berbagai wilayah, desain dari *gadget* dibuat *portable*. Pada umumnya, *gadget* yang *portable* memerlukan daya listrik searah (*direct current*) sebagai catuannya. Baterai merupakan salah satu solusi yang bagus sebagai suplai daya pada *gadget*, tapi baterai memiliki jangka waktu penggunaan yang terbatas. Berdasarkan hukum kekekalan energi, wujud energi bisa diubah dari satu bentuk ke bentuk lain. Hal ini bisa dijadikan ide bagi perangkat *portable* dengan daya rendah untuk mendapatkan energi alternatif dari gelombang radio yang berlimpah di sekitar kita. Energi gelombang radio yang ada di udara bebas diserap dan kemudian diubah menjadi energi listrik searah. Konsep ini dinamakan dengan *radio frequency energy harvesting* yang dikemukakan oleh ilmuwan terkenal bernama Nikola Tesla di mana gelombang elektromagnetik 'dipanen' dan dikonversi ke berbagai bentuk daya listrik. Salah satu aplikasi dari *radio frequency energy harvesting* ini yaitu *rectifying antenna (rectenna)*. Sistem utama dari *rectenna* terdiri dari antena dan *rectifier*. Gelombang radio yang ada di udara bebas akan diterima oleh antena sebagai masukan berupa tegangan bolak-balik (*alternating current*) dan kemudian diubah menjadi tegangan searah sebagai keluarannya oleh *rectifier*.

Penelitian-penelitian sebelumnya telah melakukan realisasi *rectenna* pada frekuensi GSM (950 MHz)[4] dan WIFI (2,4 GHz)[5]. Penelitian tentang *rectifier* pada frekuensi TV UHF menggunakan teknik *voltage multiplier* juga telah direalisasikan[6]. Pada tugas akhir ini dirancang dan direalisasi sebuah *rectenna* untuk sinyal TV UHF frekuensi (470 -806 MHz) yang rangkaian penyearahnya berjenis *voltage doubler* menggunakan susunan dioda dan kapasitor. Antena pada penelitian ini menggunakan antena mikrostrip vivaldi *wideband* sehingga bisa mencakup *range* frekuensi kerja untuk frekuensi TV UHF.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Wireless Energy Harvesting

Definisi awal dari sistem transmisi daya secara nirkabel menjelaskan bahwa sebuah unit dapat memancarkan daya listrik dari suatu tempat dan menangkapnya di suatu tempat lain di bumi tanpa menggunakan kabel atau media semacamnya.

Sumber dari pemanenan energi secara nirkabel tersedia dalam berbagai bentuk seperti energi surya, energi angin, energi panas, energi elektromagnetik, energi kinetik, dan lainnya. Di antara semua energi tersebut, energi elektromagnetik memiliki jumlah yang berlimpah di udara dan tidak terbatas. Gelombang elektromagnetik berasal dari berbagai sumber seperti stasiun satelit, internet nirkabel, stasiun radio, dan penyiaran multimedia digital. Sebuah sistem pemanenan energi frekuensi radio dapat menangkap dan mengubah energi elektromagnetik menjadi sebuah tegangan searah (DC) yang berguna. Kunci dari sistem pemanenan daya RF yaitu antena dan rangkaian penyearah (*rectifier*)[7].

### 2.2 Rectenna

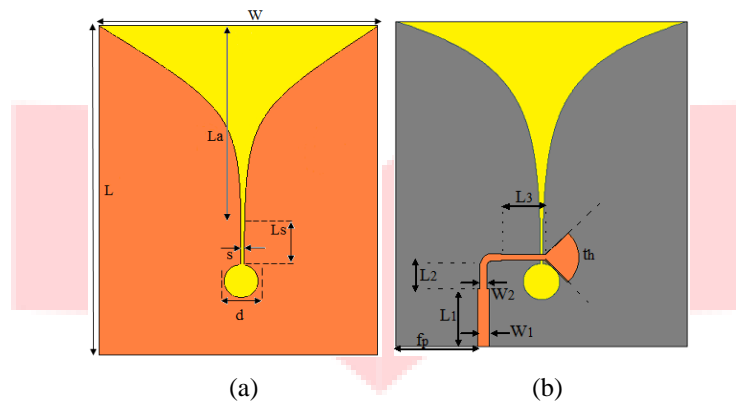
*Rectenna (rectifying antenna)* merupakan penerapan *RF power harvesting*[8]. *Rectenna* berfungsi sebagai konverter gelombang radio (ac) menjadi arus dc. Desain dari *rectenna* untuk pemanenan gelombang RF bervariasi dan umumnya terdiri dari empat subsistem. Empat subsistem ini yaitu antena penerima, *pre-rectification filtering*, *rectification*, dan *post-rectification filtering*[9].

- 1) Antena  
Antena berfungsi sebagai penerima gelombang radio sebanyak mungkin dari udara dan mentransfer gelombang tersebut ke filter *pre-rectification*. Faktor utama yang dipertimbangkan dalam perancangan antena yaitu diantaranya kemampuan penanganan daya, efisiensi antena, frekuensi operasi, dan *gain*.
- 2) *Pre-rectification Filtering*  
Filter pra-penyearah ini berfungsi sebagai pembatas gelombang radio yang masuk dari antena penerima untuk memastikan bahwa sinyal yang masuk beresonansi di bawah frekuensi operasi *rectifier* dan mencegah radiasi ulang harmonik orde tinggi yang dihasilkan oleh karakteristik non-linier dari dioda penyearah.
- 3) *Rectification*  
Rangkaian penyearah merupakan hal krusial dari *rectenna* yang biasanya memiliki dioda sebagai komponen utamanya. Rangkaian ini menyearahkan gelombang elektromagnetik yang diterima antena menjadi tegangan dc.
- 4) *Post-Rectification Filtering*  
Setelah gelombang radio disearahkan oleh *rectifier*, sinyal dilanjutkan ke filter yang berfungsi untuk mengekstrak komponen dc dan memantulkan sisa frekuensi kembali ke *rectifier*.

### 2.3 Antena Vivaldi

Antena Vivaldi merupakan antena planar gelombang berjalan dengan radiasi *end-fire* serta memiliki gain yang cukup tinggi (4 – 8 dBi)[10]. Antena ini diperkenalkan oleh P. J. Gibson pada tahun 1979. Antena ini merupakan tipe khusus dari *tapered slot antenna* dengan bagian meruncing yang eksponensial[11]. Secara teori, antena vivaldi memiliki rentang frekuensi operasi yang tidak terbatas dengan *beamwidth* yang konstan pada keseluruhan *bandwidth*[12].

Antena vivaldi terdiri dari saluran pencatu mikrostrip, transisi saluran catu ke *slotline*, dan struktur peradiasi. Struktur peradiasi ini biasanya meruncing secara eksponensial. Pada saat transmisi, energi yang dicatu ke antena akan masuk ke saluran catu dan kemudian ditransisikan ke rongga melingkar yang berada di pangkal *slotline* eksponensial. Setelah ditransisikan, energi tersebut dipancarkan melalui *slotline* eksponensial yang disebut *tapered slot*.



Gambar 2.1 Antena Vivaldi (a) bagian depan (b) bagian belakang[13]

Antena vivaldi memiliki perumusan sebagai berikut:

- Persamaan exponential antena vivaldi[13] :

$$y(x) = ce^{K_a x} \quad (2.1)$$

Konstanta c dan nilai  $K_a$ [13] :

$$c = \frac{s}{2} \quad \text{dan} \quad K_a = \frac{1}{L_a} \ln\left(\frac{W}{s}\right) \quad (2.2)$$

- Perhitungan dimensi antena vivaldi dinyatakan sebagai berikut[14] :

$$W = L = \frac{c}{f_0} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2.3)$$

### 2.4 Rectifier

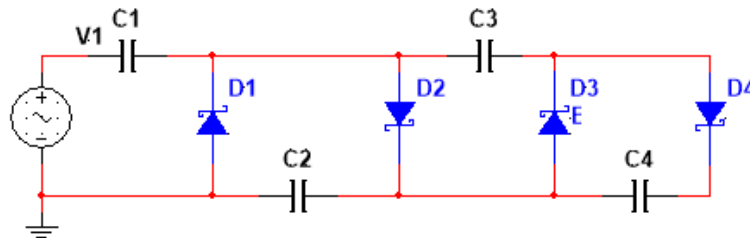
*Rectifier* atau yang biasa disebut sebagai penyearah gelombang merupakan bagian dari catu daya yang mengubah sinyal tegangan arus *Alternating Current* menjadi tegangan arus *Direct Current*. *Rectifier* memiliki komponen utama yaitu dioda yang disusun secara *forward bias*. Pada dasarnya, *rectifier* ada yang bertipe *half wave rectifier* (penyearah setengah gelombang) dan *full wave rectifier* (penyearah gelombang penuh).

*Half wave rectifier* merupakan sirkuit penyearah yang memiliki satu dioda. Rangkaian ini hanya mengambil bagian positif dari gelombang AC. Ketika sisi positif gelombang AC masuk, dioda akan mengalami *forward bias* sehingga bagian positif dari gelombang AC akan dilewatkan oleh dioda. Ketika sisi negatif yang masuk, dioda akan mengalami *reverse bias* sehingga bagian negatif dari gelombang AC tidak bisa dilewatkan oleh dioda. Rangkaian *half wave rectifier* ini tidak menghasilkan gelombang yang penuh karena gelombang tidak bisa dilewatkan pada siklus negatif.

*Full wave rectifier* merupakan sirkuit penyearah yang memiliki dua dioda. Ketika gelombang AC positif memasuki rangkaian, dioda pertama akan mengalami *forward bias* sehingga gelombang positif akan melewati dioda. Pada saat yang bersamaan, dioda kedua yang terhubung dengan terminal negatif dari trafo mengalami *reverse bias* sehingga gelombang positif tidak bisa melalui dioda dua. Pada kondisi sebaliknya (saat gelombang negatif memasuki rangkaian), dioda pertama mengalami *reverse bias* sehingga gelombang tidak akan melewati dioda pertama. Namun pada kondisi ini, dioda kedua mengalami *forward bias* sehingga gelombang bisa melewati dioda kedua. Rangkaian *full wave rectifier* menghasilkan gelombang penuh pada output-nya karena gelombang positif dan negatif dalam satu siklus mampu dilewati oleh rangkaian ini[15].

### 2.5 Voltage Multiplier

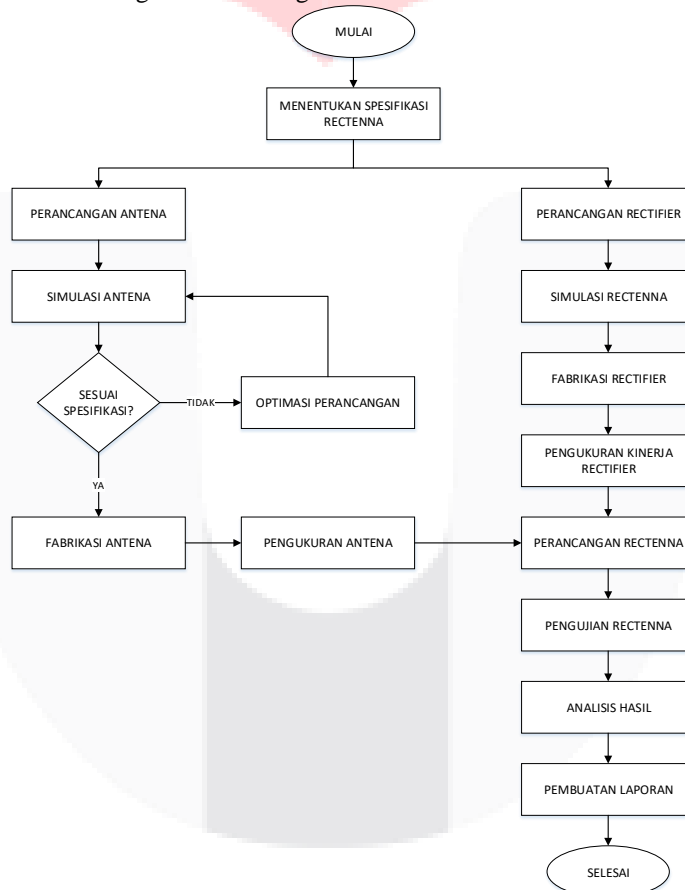
*Voltage Multiplier* merupakan tipe khusus dari rangkaian *rectifier* yang mengubah tegangan rendah menjadi tegangan dc yang lebih tinggi dengan bantuan dioda dan kapasitor[11]. Pada dasarnya, rangkaian *voltage multiplier* dan *rectifier* sama-sama berfungsi sebagai penyearah gelombang ac menjadi gelombang dc. Umumnya, tegangan output dc dari rangkaian penyearah (*rectifier*) dibatasi oleh nilai puncak tegangan input ac. Menggunakan kombinasi dioda dan kapasitor, tegangan puncak masukan bisa dilipatgandakan secara efektif untuk mendapatkan tegangan keluaran yang sama besar bahkan berlipat-lipat dari tegangan puncak masukan. Berdasarkan jumlah dioda dan kapasitor yang digunakan, *voltage multiplier* biasanya terdiri dari *voltage doubler*, *voltage tripler*, dan *voltage quadrupler*.



Gambar 2.3 Voltage Quadrupler

### 2.6 Perancangan Sistem

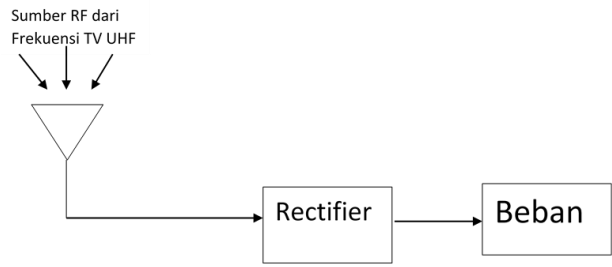
Perancangan sistem rectenna diringkas dalam diagram alir di bawah ini :



Gambar 2.4 Diagram Alir Perancangan dan Realisasi

### 3. Pembahasan

Penelitian tugas akhir ini merancang sistem rectenna sederhana yang terdiri dari antena dan rectifier seperti blok diagram di bawah ini :



Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem secara Umum

Pada sistem rectenna yang dirancang, antenna dan rectifier dirancang secara terpisah menggunakan software yang berbeda. Antena mikrostrip vivaldi dirancang menggunakan software CST Studio Suite 2016 sedangkan rectifier dirancang dan disimulasikan menggunakan NI Multisim 13. Hasil realisasi antenna yang telah dirancang sebagai berikut :



(a) (b)

Gambar 3.2 Antena Vivaldi tampak depan (a) dan belakang (b)

Antena hasil realisasi ini diukur return loss nya menggunakan Vector Network Analyzer (VNA) serta gain yang diambil sebanyak sepuluh sampel di tiga frekuensi.



Gambar 3.3 Return Loss pada VNA

Pengukuran ke -	Daya Terima (dBm)	Daya Terima (mW)
1	-30,26	0,00094189
2	-31,13	0,000770903
3	-32,16	0,000608135
4	-31,77	0,000665273
5	-31,23	0,000753356
6	-30,97	0,000799834
7	-30,79	0,000833681
8	-30,88	0,000816582
9	-31,14	0,00076913
10	-31,07	0,000781628
Rata-rata	-31,14	0,000774041
Gain (hasil ukur)[dB]	-1,64651695	
Gain (simulasi)[dB]	2,37	

Tabel 3.1 Gain pada Frekuensi 470 MHz

Pengukuran ke -	Daya Terima (dBm)	Daya Terima (mW)
1	-30,07	0,000984011
2	-30,25	0,000944061
3	-30,44	0,000903649
4	-30,17	0,000961612
5	-30,23	0,000948418
6	-30,57	0,000877001
7	-29,14	0,00121899
8	-29,5	0,001122018
9	-29,68	0,001076465
10	-29,52	0,001116863
Rata-rata	-29,957	0,001015309
Gain (hasil ukur)[dB]	0,364881714	
Gain (simulasi)[dB]	1,986	

Tabel 3.2 Gain pada Frekuensi 638 MHz

Pengukuran ke -	Daya Terima (dBm)	Daya Terima (mW)
1	-27,2	0,001905461
2	-27,19	0,001909853
3	-27,05	0,001972423
4	-27,87	0,001633052
5	-27,57	0,001749847
6	-27,63	0,001725838
7	-27,31	0,001857804
8	-27,12	0,001940886
9	-27,4	0,001819701
10	-27,19	0,001909853
Rata-rata	-27,353	0,001842472
Gain (hasil ukur)[dB]	2,439038476	
Gain (simulasi)[dB]	3,748	

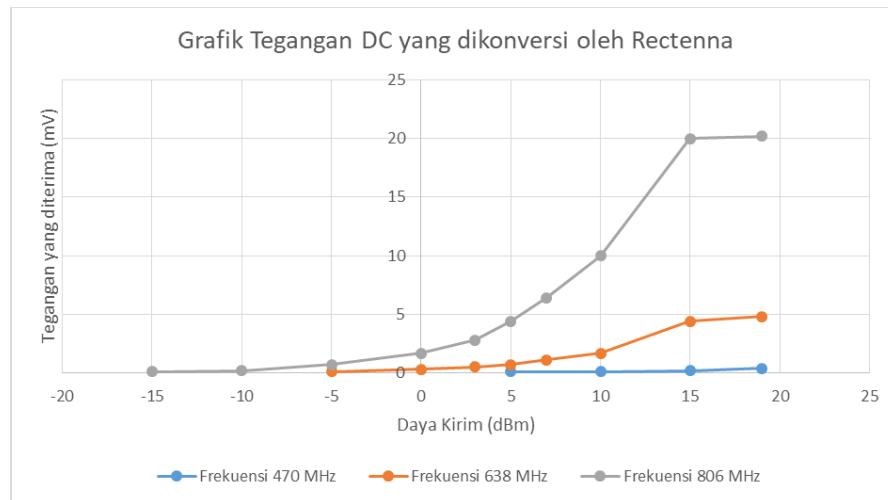
Tabel 3.3 Gain pada Frekuensi 806 MHz

Berikut merupakan hasil realisasi rectifier bertipe voltage multiplier yang berfungsi sebagai konverter gelombang AC menjadi tegangan DC sekaligus pelipatganda tegangan :



Gambar 3.4 Hasil Realisasi Rectifier

Antena dan rectifier hasil realisasi disambungkan menggunakan *adapter female to female* menyesuaikan hasil realisasi dan terbentuklah sistem rectenna sederhana. Rectenna ini diukur keluarannya berupa tegangan DC menggunakan osiloskop. Pengujian dilakukan di tiga sampel frekuensi yaitu 470 , 638, dan 806 MHz. Berikut grafik hasil pengujian rectenna :



Gambar 3.5 Grafik Tegangan dc yang dikonversi oleh Rectenna

Sistem rectenna terbukti mampu mengkonversi gelombang elektromagnetik yang diterima menjadi tegangan DC seperti yang terlihat pada grafik. Pada tiga sampel frekuensi yang diukur, rectenna menghasilkan besar tegangan DC yang berbeda-beda. Pada pengukuran sistem rectenna, sinyal yang dipancarkan dari antenna pemancar mengalami redaman dari saluran transmisi maupun redaman *free space*. Tidak hanya itu, kualitas antenna penerima juga mempengaruhi hasil output sistem.

Berdasarkan data yang didapat, rectenna mulai menghasilkan tegangan dc pada level daya yang berbeda-beda di setiap sampel frekuensi. Tegangan dc baru muncul kurang lebih pada level daya 5 dBm di frekuensi 470 MHz. Rectenna di frekuensi 638 MHz baru menghasilkan tegangan dc pada level daya kirim sebesar kurang lebih -5 dBm sedangkan di frekuensi 806 MHz sebesar kurang lebih -15 dBm. Hal ini menunjukkan sistem rectenna yang telah direalisasi bekerja lebih baik pada frekuensi yang lebih tinggi. Kesimpulan dapat diambil bahwa rangkaian rectifier yang telah direalisasi tidak memiliki sensitivitas yang tinggi.

Efisiensi *rectenna* merupakan perbandingan seberapa besar daya keluaran dari *rectifier* yang terukur pada beban dibandingkan dengan daya terima oleh antenna penerima yang terhubung dengan *rectifier* dalam range 0 – 100 %. Perhitungan efisiensi tertuang ke dalam persamaan berikut :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (3.1)$$

Daya terima oleh antenna mikrostrip vivaldi pada tugas akhir ini diukur menggunakan *spectrum analyzer* dan nilai yang terbaca merupakan daya masukan ( $P_{in}$ ) bagi sistem *rectenna*. Antenna kemudian dihubungkan dengan *rectifier* dan osiloskop. Osiloskop pada sistem ini berperan sebagai beban ( $P_{out}$ ) sekaligus pengukur tegangan dc yang dihasilkan oleh *rectenna*. Impedansi yang dimiliki oleh osiloskop sebesar 1 M $\Omega$ . Efisiensi *rectenna* diukur pada frekuensi 470, 638, dan 806 MHz. Berdasarkan data tegangan dc yang diterima *rectenna*, efisiensi tertinggi berada pada frekuensi 806 MHz sebesar 0,3 %. Nilai efisiensi yang didapat pada frekuensi 638 MHz sebesar 0,029 % sedangkan pada frekuensi 470 MHz efisiensi tidak bisa terhitung karena tegangan dc yang belum muncul pada level daya 0 dBm.

#### 4. Kesimpulan dan Saran

Penelitian tugas akhir ini merancang sebuah sitem rectenna sederhana yang terdiri dari antenna mikrostrip vivaldi dan rangkaian rectifier bertipe voltage multiplier. Antenna dirancang sebagai penerima gelombang elektromagnetik dan rectifier dirancang sebagai konverter gelombang elektromagnetik sebagai tegangan DC. Hasil realisasi antenna diukur parameter-parameternya. Rangkaian rectifier yang direalisasi diuji apakah mampu mengkonversi gelombang elektromagnetik menjadi tegangan DC. Berikut beberapa kesimpulan yang didapat setelah melakukan penelitian :

1. Perancangan antenna mikrostrip vivaldi pada CST Studio Suite 2016 mampu beroperasi pada frekuensi UHF 470 – 806 MHz dengan ukuran dimensi substrat sebesar 20 x 25 cm dengan *gain* sebesar 2,37 dB pada frekuensi 470 MHz, 1,98 dB pada frekuensi 638 MHz, dan 3,74 dB pada frekuensi 806 MHz.
2. Antenna mikrostrip vivaldi hasil realisasi memiliki performansi yang paling baik pada frekuensi 806 MHz dengan *gain* hasil pengukuran sebesar 2,43 dB.
3. Rangkaian *rectifier* bertipe *voltage multiplier* mampu menyearahkan gelombang ac (gelombang UHF pada tugas akhir ini) menjadi tegangan dc.
4. Batas daya masukan minimal supaya rectifier ataupun sistem *rectenna* bisa bekerja tergantung kepada tinggi rendahnya frekuensi operasi yang dipancarkan.
5. Penelitian tugas akhir ini dilakukan di dalam ruangan yang bersifat *anechoic* sehingga jika diterapkan di ruangan biasa ataupun di luar ruangan akan terjadi redaman yang lebih besar yang mengakibatkan daya terima semakin kecil.

6. Simulasi antenna pada CST Studio Suite 2016 maupun *rectifier* pada NI Multisim 13.0 sudah dirancang sedemikian rupa pada kondisi yang ideal dan tidak ada gangguan sehingga beberapa hal yang terjadi di dunia nyata dapat mempengaruhi performa alat yang telah direalisasi.
7. Efisiensi sistem *rectenna* pada tugas akhir ini bernilai sangat kecil karena dipengaruhi oleh daya terima antenna maupun kualitas rangkaian *rectifier*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. J. Yim, H. B. Marcos, P. L. Choyk, J. L. Hvizda, K. Steven, and B. J. Wood, "Detection of Blood Vessels for Radio-Frequency Ablation Treatment Planning," pp. 123–126.
- [2] H. Barber, "Microwaves for Cooking and Heating Applications," no. May, pp. 401–402, 1981.
- [3] J. B. Andersen, "A History of Radio Wave Propagation: From Marconi to MIMO," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 55, no. 2, pp. 6–10, 2017.
- [4] N. Mufti and Y. Wahyu, "Perancangan dan Implementasi Rectenna untuk Frekuensi 950 MHz," 2012.
- [5] U. Olgun, C. C. Chen, and J. L. Volakis, "Wireless Power Harvesting with Planar Rectennas for 2.45 GHz RFIDs," *Symp. Dig. - 20th URSI Int. Symp. Electromagn. Theory, EMTS 2010*, pp. 329–331, 2010.
- [6] A. P. Aviantoro, H. Wijanto, and Y. Wahyu, "Perancangan Dan Implementasi Rectifier Antena Dengan Menggunakan Teknik Voltage Multiplier Untuk Frekuensi UHF," *e-Proceeding Eng. Telkom Univ.*, vol. 3, no. 3, pp. 0–12, 2016.
- [7] L.-G. Tran, H.-K. Cha, and W.-T. Park, "RF Power Harvesting: A Review on Designing Methodologies and Applications," *Micro Nano Syst. Lett.*, vol. 5, no. 1, p. 14, 2017.
- [8] P. Thosar, "Design of Rectenna using RF Harvesting for Batteryless IoT Sensors," no. March, pp. 63–67, 2018.
- [9] L. M. Mark and L. M. Mark, "Efficient Rectenna Design for Wireless Power Transmission for MAV Applications," 2005.
- [10] P. Černý, J. Nevrlý, and M. Mazánek, "Optimization of Tapered Slot Vivaldi Antenna for UWB Application," *Conf. Proc. - ICECom 2007, 19th Int. Conf. Appl. Electromagn. Commun.*, no. 1, pp. 2–5, 2007.
- [11] S. Das, S. S. Pati, A. S. Kar, and D. P. Mishra, "A Novel Method of Starting of a Fluorescent Lamp with Cockcroft Walton voltage Multiplier," 2018.
- [12] X. Kang and Z. Li, "An original Vivaldi antenna for 1-8GHz Wideband Application," *2015 IEEE 6th Int. Symp. Microwave, Antenna, Propagation, EMC Technol. MAPE 2015*, pp. 231–233, 2016.
- [13] G. K. Pandey, H. S. Singh, P. K. Bharti, a. Pandey, and M. K. Meshram, "High Gain Vivaldi Antenna for Radar and Microwave Imaging Applications," *Int. J. Signal Process. Syst.*, vol. 3, no. 1, pp. 35–39, 2014.
- [14] Y. Yang, Y. Wang, and A. E. Fathy, "Design of Compact Vivaldi Antenna Arrays for Uwb See Through Wall Applications," *Prog. Electromagn. Res.*, vol. 82, pp. 401–418, 2008.
- [15] W. Y. Arifin and Y. Wahyu, "Perancangan dan Realisasi Rectenna Mikrostrip Rectangular Patch Array pada Frekuensi 470 MHz - 2400 MHz Sebagai Energi Penggerak Jam," 2016.