

PERANCANGAN RANGKAIAN *RECTIFIER* PADA SISTEM RF ENERGY HARVESTING DENGAN ANTENA TELEVISI PADA FREKUENSI UHF

Muhammad Novian Rahmatur Rajab¹⁾, Koesmarijanto²⁾, Rachmad Saptono³⁾

^{1,2,3)} Program Studi Jaringan Telekomunikasi Digital,

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, 65141

¹mnovianrr@gmail.com, ²koesmarijanto@polinema.ac.id, ³saptone07@gmail.com

Abstrak

Dewasa ini perkembangan teknologi semakin pesat, salah satunya yaitu perkembangan teknologi telekomunikasi. Telekomunikasi yang berkembang pesat saat ini menyediakan layanan komunikasi dengan menggunakan gelombang radio sebagai pembawa informasinya, akibatnya banyaknya gelombang elektromagnetik berada di alam sekitar. Dari hal tersebut muncul berbagai penelitian yang kini telah dikembangkan guna dapat memanfaatkan energi yang terdapat pada gelombang elektromagnetik yang berada di sekitar sebagai sumber energi alternative disebut juga *Energy Harvesting*. Tujuan dari pembuatan skripsi ini adalah untuk membuat *Rectifier* dan diintegrasikan dengan antena televisi untuk mengubah sinyal RF pada frekuensi UHF (470 MHz – 807 MHz) menjadi energi tegangan DC sebagai sistem *Energy Harvesting*. Pada tugas akhir ini dilakukan perancangan *rectifier voltage doubler* 2,4, dan 6-stage dengan menggunakan diode HSMS 2820 dan diintegrasikan dengan antena televisi. Hasil rangkaian *rectifier* yang dibuat yaitu pada simulasi rangkaian *rectifier* mampu mengubah *input* AC menjadi DC dan menguatkan tegangan *output* nya mencapai pelipatan sejumlah *stage* rangkaian yang digunakan. Pada pengujian fabrikasi rangkaian *rectifier* 6-stage, *output* terbesar yang dihasilkan mencapai 1.3 V dengan *input* 0.398 V pada frekuensi 470 MHz sedangkan *Output* terkecil yaitu 3 mV dengan *input* 0.022 V pada frekuensi 637 MHz, dan pada pengujian menggunakan antena TV sebagai penangkap sinyal RF dari pemancar, tegangan terbesar yang didapat mencapai 1.019 V pada rangkaian 6-stage, tegangan *Output* berupa tegangan DC.

Kata Kunci: *Rectifier, UHF, Antena Televisi, Voltage multiplier, Energy Harvesting.*

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi merupakan suatu entitas yang selalu kita rasakan dan butuhkan dalam kehidupan sehari-hari. Ada berbagai macam perwujudan energi yang sering dijumpai seperti energi gerak, energi panas, energi cahaya, energi listrik, energi elektromagnetik dan lainnya. Dewasa ini perkembangan teknologi semakin pesat, banyak teknologi - teknologi yang digunakan di kehidupan sehari – hari semakin maju dan modern, salah satunya yaitu perkembangan teknologi telekomunikasi. Telekomunikasi yang berkembang pesat saat ini menyediakan layanan komunikasi dengan menggunakan gelombang radio sebagai pembawa informasinya. Semakin banyaknya alat atau perangkat komunikasi dan transmisi data saat ini memuat sumber pemancar gelombang radio atau *radio frequency* (RF) banyak ditemui seperti pemancar radio, BTS seluler, stasiun televisi, *transmitter wireless*, dan perangkat yang berbasis RF lainnya. Pemancar tersebut menyebabkan banyaknya gelombang elektromagnetik berada di alam sekitar. Dari hal tersebut muncul berbagai penelitian yang kini telah dikembangkan guna dapat memanfaatkan energi yang terdapat pada gelombang elektromagnetik yang berada disekitar sebagai sumber energi *alternative* disebut juga *Energy Harvesting*.

Energy Harvesting atau pemanenan energi adalah proses memanfaatkan energi berasal dari sumber eksternal seperti matahari, panas, gelombang radio frekuensi, dan gelombang elektromagnetik lain yang

memancarkan sinyal. Salah satu perangkat yang dapat digunakan untuk memanen gelombang elektromagnetik ini adalah *Rectifier* yang diintegrasikan dengan antena (*Rectenna*).

Pada penelitian ini dilakukan perancangan *Rectifier* untuk mengubah sinyal tegangan AC menjadi tegangan DC dan diintegrasikan dengan antena televisi yang bekerja pada frekuensi UHF yaitu 470 – 806 MHz . *Ultra high frequency* (UHF) yaitu gelombang elektromagnetik dengan frekuensi antara 300 MHz sampai dengan 3 GHz. Di Indonesia yang menggunakan frekuensi UHF ialah sinyal televisi dengan frekuensi antara 470 MHz sampai dengan 806 MHz.

II. TINJAUAN PUSTAKA

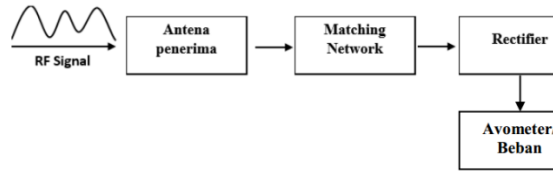
1. *Energy Harvesting*

Energy Harvesting adalah suatu proses dimana energi ditangkap dan dikonversi langsung menjadi listrik untuk perangkat kecil dan menengah seperti *autonomous wireless sensor nodes, consumer electronics*, dan kendaraan. *Energy Harvesting* menggunakan sumber energi yang tidak konvensional dan diubah menggunakan rangkaian listrik menjadi tegangan *Output* DC. Sumber energi tersebut berasal dari sumber eksternal seperti gelombang radio (*RF energy*), energi panas, energi alam, energi matahari, dan lain-lain.

2. *Rectenna*

Rectenna pada dasarnya merupakan sebuah perangkat yang mengkonversi energi RF menjadi

sebuah tegangan DC. Ini adalah kombinasi dari dua kata yaitu *Rectifier* dan antenna. Antena sebagai penerima energi RF yang selanjutnya akan diubah menjadi energi listrik berupa sinyal *Alternating current*/sinyal bolak-balik (AC). Kemudian *Rectifier* akan mengkonversi energi RF yang berupa sinyal AC menjadi tegangan DC.



Gambar 1 Blok Diagram *Rectenna*.

3. *Rectifier*

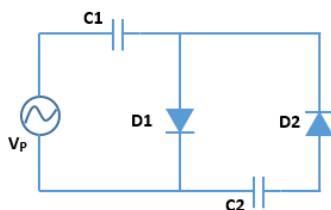
Rectifier atau penyearah gelombang adalah bagian dari *power supply* / catu daya yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi sinyal tegangan bolak-balik AC (*Alternating current*) menjadi tegangan searah DC (*Direct Current*). Komponen utama dalam penyearah gelombang adalah dioda yang dikonfigurasikan secara *forward bias*.

4. Antena

Antena merupakan alat untuk mengirim dan menerima gelombang elektromagnetik yang bergantung kepada pemakaian dan penggunaan frekuensinya, antena bisa berwujud dalam berbagai bentuk, mulai dari seutas kabel, *dipole*, atau pun yagi. Selain itu antena juga merupakan alat pasif tanpa catu daya (*power*), yang tidak bisa meningkatkan kekuatan sinyal radio, seperti *reflector* pada lampu senter, tetapi hanya membantu mengkonsentrasi dan memfokuskan sinyal.

5. *Voltage Doubler*

Voltage doubler adalah sebuah rangkaian elektronika yang mengisi kapasitor dari tegangan *input* dan dari proses pengisian ini secara ideal, tegangan yang dihasilkan sebesar dua kali lipat dari tegangan *input*. Yang paling sederhana dari rangkaian ini adalah bentuk dari *Rectifier* yang mengambil tegangan AC sebagai *input* dan menghasilkan tegangan DC dua kali lipat. *Voltage doubler* merupakan salah satu dari berbagai jenis *Voltage multiplier*. Hampir sebagian besar dari rangkaian *Voltage doubler* dapat dilihat sebagai *single stage* dari *Multiplier*.



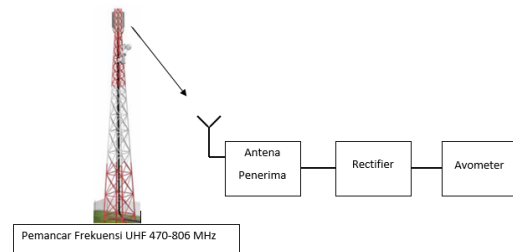
Gambar 2 Rangkaian *Voltage Doubler*

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

III. METODE PENELITIAN

Tahap ini memaparkan perencanaan dalam pembuatan alat dan sistem kerja yang digunakan.

1. Blok Diagram Sistem



Gambar 3 Diagram Blok Sistem

Gambar 3 merupakan diagram blok sistem *Rectenna* pada sistem *energy harvesting*. Penjelasan diagram blok dapat dijelaskan sebagai berikut:

1) Pemancar radio frekuensi.

Pemancar radio frekuensi merupakan bagian yang berfungsi memancarkan sinyal radio frekuensi. Pemancar sinyal radio frekuensi pada tugas akhir menggunakan *transmitter* sinyal radio frekuensi yang sudah ada yaitu pemancar televisi yang memancarkan frekuensi UHF 470-806 MHz dan menggunakan *signal generator* untuk pengujian di lab.

2) Antena.

Antena merupakan bagian yang terhubung langsung dengan alat. Antena disini memiliki fungsi sebagai pendeteksi, penangkap sinyal radio frekuensi yang ada di lingkungan sekitar serta mengirimkan sinyal radio frekuensi tersebut

kepada rangkaian *Rectifier* untuk diproses atau diubah oleh menjadi tegangan DC. Pada tugas akhir ini menggunakan antena standar televisi.

3) Rangkaian *Rectifier*.

Pada sistem *Energy Harvesting* ini *Rectifier* merupakan rangkaian utama yang berperan penting untuk memproses sinyal radio frekuensi yang diterima antena. *Rectifier* berfungsi sebagai pengubah sinyal radio frekuensi yang dikirimkan oleh pemancar dan ditangkap oleh antena kemudian diubah menjadi tegangan DC.

4) Setelah pengguna mendapatkan informasi tentang level air maka pengguna dapat melakukan pengisian air secara jarak jauh dan kapan saja melalui SMS sehingga sesuai keinginan pengguna.

5) Avometer

Avometer adalah alat ukur yang digunakan untuk mengetahui nilai besar tegangan keluaran dari rangkaian *Rectenna* pada sistem *Energy Harvesting* ini.

2. Pemilihan Komponen

Pemilihan jenis komponen yang akan digunakan dalam perancangan dan pembuatan suatu sistem merupakan hal yang sangat mutlak untuk dilakukan, karena hal tersebut akan berpengaruh terhadap kualitas perangkat, efisiensi, dan efektifitas pada perangkat yang akan dibuat. Dalam memilih komponen yang akan digunakan ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, seperti kualitas komponen, keakuratan dan tingkat kecepatan dalam melakukan pekerjaan, bentuk serta dimensi komponen, dan juga dana agar efisien dalam pengeluaran. [6]. Pada sistem RF *Energy Harvesting* komponen utama yang digunakan untuk rangkaian *Rectifier* pada tugas akhir ini adalah dioda. Dioda disini berfungsi sebagai penyearah yang mengubah sinyal AC yang diterima oleh antena dari pemancar radio frekuensi menjadi tegangan DC. Jenis dioda yang dapat digunakan pada pembuatan tugas akhir ini harus memiliki beberapa kriteria berdasarkan sistem yang dibuat, diantaranya:

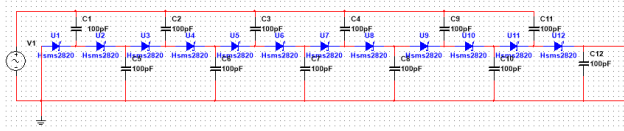
- a. Dapat berfungsi sebagai saklar.
- b. Dapat mengalirkan arus bolak balik, dalam hal ini sebagai detector sinyal RF.
- c. Memiliki *fast recovery* yang sangat cepat.
- d. Berfungsi dengan tegangan maju yang rendah ± 0.2 V.

Berdasarkan kriteria tersebut pada tugas akhir ini memilih untuk menggunakan diode *schottky*. Dioda *Schottky* menggunakan *metal-semiconductor junction* alih-alih *semiconductor - semiconductor junction* yang umumnya digunakan pada jenis dioda biasa. Penggunaan *metal semiconductor* pada *junction* ini akan membuat *junction* mampu bekerja lebih cepat dan memberikan tegangan *threshold* mulai dari 0,15 V sampai 0,5 V, rentang ini lebih kecil dibandingkan tegangan *threshold* dioda biasa yang rentangnya sekitar 0,7 – 1,7 V [6]. Pada tugas akhir ini, dioda *Schottky* yang digunakan adalah dioda *Schottky* HSMS

2820 dari Avago. Dioda *Schottky* HSMS 2820 ini memiliki tegangan *threshold* sebesar 0,34 V dan mampu bekerja hingga frekuensi gelombang 4 GHz.

3. Perancangan *Rectifier*

Tugas akhir ini *Rectifier* dirancang menggunakan rangkaian *Voltage doubler n-stage* yang juga dikenal dengan rangkaian *Voltage multiplier*. Rangkaian *Voltage multiplier* bertindak sebagai penyearah dan pengganda besar tegangan *Output* nya. Rangkaian *Voltage multiplier* dapat digunakan dalam beberapa macam bentuk susunan seperti *Villard*, *dickson*, *resonant villard*, dan *resonant dickson*. Pada penelitian sebelumnya telah membandingkan keempat rangkaian tersebut, dengan hasil susunan Dickson relatif lebih baik pada sistem bertegangan rendah [8]. Pada penelitian ini menggunakan rangkaian *Voltage doubler* dengan susunan *dickson*.



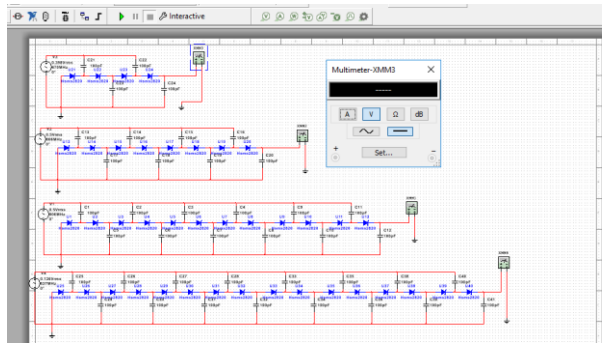
Gambar 4 Rangkaian *Voltage Doubler Dickson n-Stage*

Jumlah *stage* pada rangkaian seperti ini telah dipaparkan di bab sebelumnya berbanding lurus dengan besar tegangan *Output* yang dihasilkan. Berdasarkan teori yang telah dibahas di bab sebelumnya diketahui bahwa untuk jumlah *stage* yang semakin banyak akan semakin besar pula nilai tegangan DC yang dihasilkan rangkaian *Voltage multiplier*. Namun akan ada batasan pada jumlah *stage* yang bisa dipakai pada rangkaian. Jumlah *stage* dalam penelitian ini akan dibuat beberapa *stage* yaitu 2-*stage*, 4-*stage*, dan 6-*stage*. Frekuensi yang semakin tinggi untuk mendapatkan nilai tegangan *Output* yang semakin besar diperlukan nilai kapasitor yang semakin kecil. Meskipun demikian, nilai kapasitor yang makin besar pada rangkaian *Voltage multiplier* berarti makin besar pula energi yang bisa disimpan, namun dengan kompensasi waktu *transient* yang semakin lama. Penggunaan nilai kapasitor dalam rangkaian *Voltage multiplier* ini mengikuti nilai yang telah diuji dalam referensi [5], yaitu sebesar 100pf.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap ini terdiri dari pengujian simulasi rangkaian, hasil fabrikasi rangkaian dan pengujian *rectenna*.

1. Simulasi Rangkaian



Gambar 5 Simulasi Rangkaian pada Software Multisim

Proses pembuatan simulasi ini menggunakan *software national instrument multisim 14*. Pengujian simulasi ini dilakukan untuk mengetahui hasil *Output* tegangan secara simulasi dari tiap rangkaian *rectifier n-stage* yang direncanakan dan pembuktian rangkaian *Voltage multiplier* dapat bekerja, pengujian simulasi ini dilakukan dengan mengasumsikan nilai tegangan *input AC* berbeda-beda. Frekuensi yang digunakan yaitu 470 MHz, 637 MHz, dan 806 MHz. Besar nilai tegangan *input* yang digunakan adalah -20 dBm, -10 dBm, -5 dBm, 0 dBm, 5 dBm. Karena pada *software multisim* tidak terdapat *input* tegangan AC dalam satuan dBm maka besar nilai *input* di konversikan ke satuan *volt* dengan menggunakan persamaan 3.1 dan 3.2 berikut [11].

$$P(\text{watt}) = \frac{10^{\frac{p(\text{dBm})}{10}}}{1000} \text{ watt} \quad (3.1)$$

$$V = \sqrt{p(\text{watt}) \cdot 50\Omega} \quad (3.2)$$

Dimana:

50Ω = nilai impedansi

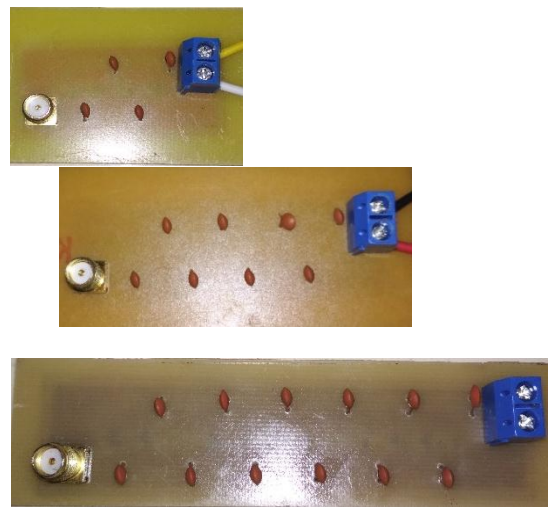
Tabel 1 Output Hasil Simulasi Rangkaian

Frekuensi (Mhz)	Input (Vrms)	Output (mV)			
		2 stage	4 stage	6 stage	8 stage
470	0.022	-	-	-	-
	0.071	33	31	22	19
	0.126	240	260	214	183
	0.224	746	1180	1400	1500
	0.398	1644	3020	4100	5100
637	0.022	-	-	-	-
	0.071	21.8	23	20.8	14.7
	0.126	221	211	184	140
	0.224	707.8	1100	1300	1320
	0.398	1600	2900	4000	5000
806	0.022	-	-	-	-
	0.071	21.6	16	15	11
	0.126	180	178	153	130
	0.224	681	1000	1200	1280
	0.398	1590	2800	3900	4900

Hasil *output* simulasi menunjukkan bahwa rangkaian *voltage multiplier* mampu menghasilkan

tegangan DC dari *input AC* dan nilai *output* yang lebih besar dibanding nilai tegangan puncak *input AC* nya. Berdasarkan tabel hasil simulasi besar *input* dan jumlah *stage* mempengaruhi *output* dari rangkaian juga semakin banyak *stage* tegangan *output* rangkaian semakin besar pula pada level tertentu, hal ini dapat dilihat pada tabel *output* hasil simulasi, tegangan *output* semakin besar pada rangkaian dengan jumlah *stage* yang lebih banyak. Selain itu semakin besar frekuensi yang digunakan pada simulasi ini nilai tegangan *output* yang dihasilkan berbeda, pada tabel hasil simulasi pada frekuensi 470 MHz nilai tegangan *output* yang dihasilkan tiap *stage* lebih besar dari pada frekuensi 637 MHz dan 806 MHz.

2. Pengujian Fabrikasi Rangkaian



Gambar 6 Hasil Fabrikasi Rangkaian Rectifier 2,4,6 Stage

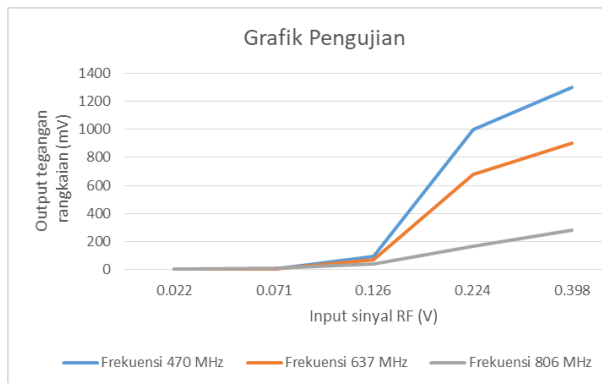
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hasil tegangan *Output* rangkaian *Rectifier* dengan menggunakan *signalgenerator* sebagai sumber *inputan* sinyal RF. Pengujian fabrikasi ini *output* dari *signalgenerator* disambungkan langsung pada *port input* rangkaian *rectifier* dengan menggunakan kabel yang disesuaikan dan untuk mengukur nilai tegangan *output* rangkaian menggunakan avometer.

Tabel 2 Hasil pengujian Rectifier di Lab

Frekuensi (Mhz)	Input (V)	Output (mV)
470	0.022	5
	0.071	8
	0.126	95
	0.224	1000
	0.398	1300
637	0.022	3
	0.071	8
	0.126	70
	0.224	680
	0.398	900
806	0.022	4

	0.071	14
	0.126	41
	0.224	165
	0.398	280

Pengujian ini menggunakan rangkaian *rectifier* 6-stage yang telah dibuat. *Input* sinyal yang diberikan yaitu mulai level yang rendah -20 dBm kemudian naik pertahap -10 dBm, -5 dBm, 0 dBm dan paling tinggi 5 dBm atau mulai dari 0.022 V, 0.071 V, 0.126 V, 0.224 V, 0.398 V.

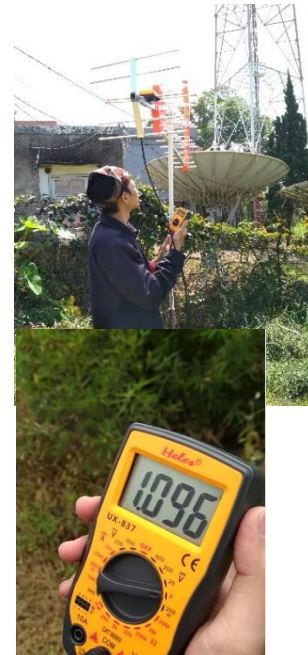


Gambar 7 Grafik Hasil Pengukuran Rangkaian Rectifier

Hasil pengujian fabrikasi *rectifier* diketahui bahwa semakin besar nilai frekuensi nilai tegangan yang didapat semakin kecil, terlihat pada frekuensi 470 MHz ketika level *input* sebesar 0.224 V didapatkan nilai tegangan mencapai 1 V, pada frekuensi 637 MHz ketika level *input* 0.224 V didapatkan nilai tegangan mencapai 680 mV, dan pada frekuensi 806 MHz ketika level *input* 0.224 V didapatkan nilai tegangan mencapai 165 mV. Pada hasil pengujian rangkaian ini juga terlihat level *input* mempengaruhi peningkatan *Output*nya. Pada frekuensi 470 dan 637 MHz *Output* dari *input* 0.224 V lebih besar dari nilai *input*nya. Bila dibandingkan dengan hasil simulasi nilai *Output* pengujian *Rectifier* jauh berbeda. Hal ini dikarenakan *Output* pada pengujian *Rectifier* tidak lepas dari rugi-rugi komponen yang digunakan, seperti nilai hambatan internal diode yang membatasi nilai *Output* DC, rugi rugi komponen yang digunakan dan pada level *input* tertentu belum mencapai tegangan *threshold* diode.

3. Pengujian Rectenna

Pengujian ini dilakukan di daerah Oro – Oro ombo kabupaten Batu dengan memanfaatkan antenna pemancar RF televisi yang berada di daerah tersebut. Pengujian ini dilakukan di waktu siang hari dengan menempatkan *Rectenna* berada pada jarak kurang lebih 50 meter dari tower pemancar. Pengujian ini dilakukan di dekat 2 tower pemancar, yaitu pemancar ANTV dan RCTI-SCTV.



Gambar 8 Pengujian Rectenna

Pengujian di dekat tower pemancar ANTV, rangkaian 2-stage mendapat tegangan mencapai 20 mV, rangkaian 4-stage mendapat tegangan mencapai 30 mV dan rangkaian 6-stage mendapat tegangan mencapai 67 mV. Kemudian di dekat tower pemancar RCTI-SCTV rangkaian 2-stage mendapatkan tegangan mencapai 230 mV, rangkaian 4-stage mendapat tegangan mencapai 740 mV dan rangkaian 6-stage mendapat tegangan mencapai 1.09 V.

Besar *Output* dari pengujian *rectenna* dapat dipengaruhi oleh banyak hal seperti jarak antenna penerima dan pemancar, besar sinyal di udara yang diterima oleh antenna, daya pancar dari antenna pemancar serta rugi – rugi yang didapat dari perangkat yang digunakan. Meskipun *Output* dari rangkaian *Rectifier* mencapai 1.096 volt pada rangkaian 6-stage namun hal ini belum dapat dikatakan sesuai karena besar tegangan sinyal yang diterima antenna dari pemancar nilainya belum diketahui.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan alat dan hasil pengujian yang dilakukan Disimpulkan bahwa:

1. Rangkaian *Rectifier* yang dibuat mampu bekerja sesuai dengan prinsip kerjanya pada sistem *Energy Harvesting* dengan frekuensi 470 – 806 MHz yaitu sebagai penyearah sinyal RF AC menjadi DC.
2. Berdasarkan hasil simulasi nilai *output* rangkaian mampu menghasilkan tegangan DC lebih besar dari tegangan puncak *input* yang diberikan, pada level *input* tertentu besar *output* tegangan yang dihasilkan mampu mencapai pelipatan sejumlah *stage* rangkaian.

3. Tegangan yang dihasilkan pada pengukuran *Output* rangkaian *Rectifier 6-stage* dengan *input* sinyal RF AC dari signal generator bila dibandingkan dengan simulasi *output* tegangan tersebut belum mencapai pelipatan yang sejumlah *stage* rangkaian. Hal tersebut terjadi karena kondisi simulasi yang ideal berbeda dengan pengukuran yang dipengaruhi berbagai faktor seperti rugi-rugi pada saluran transmisi dan perangkat, bahan dan komponen yang digunakan dan solderan jalur rangkaian.
 4. Pengujian *rectenna* yang dilakukan pada jarak kurang lebih 50 meter dekat pemancar televisi frekuensi 470 MHz – 807 MHz, tegangan terbesar yang dihasilkan rangkaian *6-stage* yaitu 1.09 V, *4-stage* yaitu 740 mV dan *2-stage* yaitu 230 mV.
 5. Semakin banyak jumlah *stage* rangkaian dari pengujian 2, 4, 6 *stage*, *output* yang didapat semakin besar namun rugi – rugi yang didapat semakin banyak pula karena komponen yang digunakan juga bertambah.
- [10] Vilandika, Hebdy. 2014. Rancang Bangun Charger Baterai Telepon Genggam Memanfaatkan Sinyal Radio Frekuensi. *Skripsi*, Fakultas Teknik dan Komputer, Universitas Komputer Indonesia.
- [11] Inchcalculator. (2019). Watts to Volt Electrical Conversion Calculator. Diakses pada 6 Juli 2019.dari www.inchcalculator.com

REFERENSI

- [1] NZ, Hamka Ikhlasul Amal. 2016. Perancangan Dan Realisasi Sistem Rf *Energy Harvesting* Pada Frekuensi UHF. *e-Proceeding of Engineering*. Vol.3, No.1.2016, PP.568-575.
- [2] Antony., Arman Sani. 2015. Rancang Bangun Power Harvester Untuk Transfer Daya Wireless Menggunakan Antena Tv Frekuensi 470 – 860 MHz. *Singuda Ensikom*. Vol.12, No.34.2015, PP.119-123.
- [3] Aviantoro, Aditya Putra. 2016. Perancangan Dan Implementasi *Rectifier* Antena Dengan Menggunakan Teknik *VoltageMultiplier* Untuk Frekuensi UHF. *Jurnal Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom*.
- [4] Harpawi, noptin. 2014. Design *Energy Harvesting* Device of UHF TV Stations. *Bandung Institute of technology.IEEE*, 2014.
- [5] Iwanda, Fadhli. 2018. Rectifying Antenna (*Rectenna*) Untuk Sinyal Tv Uhf 470 – 806 MHz. *e-Proceeding of Engineering* .Vol.5.No.3.2018, PP.5483 - 5490.
- [6] Oka, Azlul Fadhly. 2011. Rancang Bangun Prototipe Sistem Daya Telepon Seluler Berbasis RF *Energy Harvesting* Dan Sel Surya . *Skripsi*, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [7] Purnama, Agus. 2012. Konsep Dasar Penyearah Gelombang(*Rectifier*). Diakses pada 6 Juli 2019. dari elektronika-dasar.web.id
- [8] Rivaldo, Ryan. 2018. *Rectenna (Rectifier Antenna)* 800 MHz - 2500 MHz. *e-Proceeding of Engineering* . Vol.5, No.2.2018, PP.2281-2288.
- [9] HSMS 282x Series."Surface Microwave Schottky Detector Diodes". Data Sheet.