

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI RECTIFIER ANTENA DENGAN MENGUNAKAN TEKNIK VOLTAGE MULTIPLIER UNTUK FREKUENSI UHF

DESIGN AND IMPLEMENTATION RECTIFIER ANTENNA USED VOLTAGE MULTIPLIER FOR UHF FREQUENCY

Aditya Putra Aviantoro¹, Heroe Wijanto², Yuyu Wahyu³

Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹adityaaviantoro@student.telkomuniversity.ac.id, ²heroe@Telkomuniversity.ac.id, ³yuyu@ppet.lipi.go.id

ABSTRAK

Energy harvesting atau pemanenan energi merupakan proses dimana energi berasal dari sumber eksternal seperti surya atau matahari, panas, gelombang radio frekuensi (RF), dan gelombang elektromagnetik lain yang memancarkan sinyal. Salah satu perangkat yang dapat digunakan untuk memanen energi adalah berupa 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.

Pada Tugas Akhir ini dirancang rangkaian penyearah voltage multiplier yang digunakan untuk mengubah energi RF dengan frekuensi TV UHF yaitu 470-806 MHz dan mengkonversikannya menjadi daya DC, yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi alternatif dari sumber daya yang belum di manfaatkan. Penelitian ini terfokus dalam mendesain, fabrikasi, dan pengukuran rangkaian penyearah sebagai calon yang akan diintegrasikan selanjutnya kedalam sistem Rectenna.

Dari hasil pengujian dan pengukuran yang diperoleh menunjukkan bahwa rangkaian rectifier dapat mengubah sinyal AC yang diterima pada sumber tersebut menjadi tegangan listrik DC. Pada pengujian rangkaian rectifier, rangkaian mampu mengeluarkan tegangan DC sebesar 0,4 V pada level daya -30 dbm, 0,493 pada level daya -20 dbm, dan 1,2 V pada level daya 0 dbm. Sementara itu data yang diperoleh pada pengukuran tegangan output signal rectifier menggunakan antena jenis Quad yang terbesar mencapai 2,777 V saat diukur dengan jarak 500 m dari relay station.

Kata kunci: *Energy Harvesting, Rectifier, Voltage multiplier*

ABSTRACT

Energy harvesting is the process by which energy is derived from external sources such as solar or sun, heat, radio frequency (RF), and other electromagnetic waves that emit a signal. One of the devices that can be used to harvest energy is in the form of a rectifier that is integrated with the antenna. Antennas are used as catcher of free space electromagnetic waves, whereas wave rectifier rectifier or converter is used as the AC electrical signal which has been received by an antenna into an electrical signal DC.

In this final project designed voltage multiplier rectifier circuit that is used to convert the RF energy with UHF TV frequency is 470-806 MHz and converts it into DC power, which can be used to produce alternative energy from resources that have not been utilized. This research is focused in the design, fabrication, and measurement rectifier circuit as a candidate to be integrated further into the rectenna system.

From the results of tests and measurements obtained indicates that the rectifier circuit could change AC signal is received at the source into electrical voltage DC. In testing the rectifier circuit, the circuit is able to issue a DC voltage of 0.4 V at the power level of -30 dbm, 0.493 at -20 dbm power level, and 1.2 V to the power level of 0 dbm. While the data obtained in the measurement of the largest output voltage from rectifier using an antenna Quad type reaching 2,777 V when measured at a distance of 500 m from relay station.

Keywords: *Energy Harvesting, Rectifier, Voltage multiplier*

1. Pendahuluan

Pada saat ini teknologi semakin berkembang dengan pesat, khususnya pada bidang elektronika yang menunjukkan perubahan-perubahan signifikan. Entah itu komponen yang digunakan maupun pada software yang terdapat pada piranti elektronika tersebut. Saat ini hampir semua piranti elektronika menggunakan tegangan DC (Direct Current) untuk tegangan masukannya karena sumber ini dapat mencakup bermacam-macam piranti elektronika. Sumber tegangan DC yang paling baik adalah baterai, tetapi tidak semua piranti elektronika dapat menggunakan baterai sebagai sumbernya, karena baterai memiliki jangka waktu (*life time*) yang terbatas. Dalam suatu sistem pada piranti elektronika, bagian terpentingnya adalah pada unit supply. Karena unit ini yang merupakan jantung dari piranti elektronika tersebut yang mensupply tegangan pada komponen-komponen lainnya agar dapat bekerja dengan baik. Salah satu pemanfaatan energi yang terdapat pada gelombang elektromagnetik tersebut adalah sebagai catu daya pada perangkat elektronika yang membutuhkan suplai daya yang rendah. Semakin banyaknya perangkat-perangkat bergerak yang diaplikasikan pada berbagai bidang saat ini juga menuntut adanya catu daya yang portabel dan tidak tergantung pada catu daya listrik. Sebagai alternatif dari keterbatasan energi fosil, manusia mencoba untuk menciptakan beberapa alat pemanen energi (*energy harvesting*). Pemanenan energi atau *energy harvesting* adalah proses dimana energi berasal dari sumber eksternal seperti surya atau matahari, panas, gelombang radio frekuensi (RF), dan gelombang elektromagnetik lain yang memancarkan sinyal. Salah satu perangkat yang dapat digunakan untuk memanen gelombang elektromagnetik ini adalah *rectifier* yang diintegrasikan dengan antena. [13]

Rectifier atau penyearah gelombang merupakan salah satu media konversi *energy harvesting* yang berfungsi untuk mengubah sinyal tegangan AC (*Alternating Current*) menjadi tegangan DC (*Direct Current*), sedangkan antena digunakan sebagai penangkap gelombang elektromagnetik dari ruang bebas. [6]

Pada penelitian tugas akhir ini dilakukan perancangan dan realisasi sistem RF *energy harvesting* dengan sumber antena pada frekuensi kerja TV UHF (470-806 MHz). Pembahasan yang dilakukan meliputi perancangan sistem *voltage quadrupler rectifier* sebagai penyearah gelombang. *Rectifier* yang dirancang dan direalisasikan berupa rangkaian penyearah *voltage multiplier* tersebut menggunakan 4 buah dioda *schottky* tipe BAT 17.

2. Dasar Teori

2.1 Energy Harvesting

Pemanenan energi atau *energy harvesting* adalah proses penyerapan energi dimana energi tersebut berasal dari sumber eksternal. [1]

2.2 Konsep Dasar penyearahan Energi RF ke DC

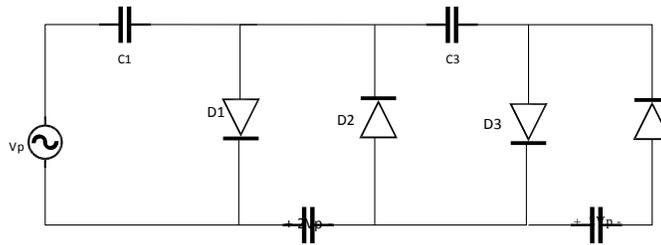
RF energy harvesting adalah proses dimana energi frekuensi radio yang dipancarkan oleh sumber yang menghasilkan medan elektromagnetik tinggi seperti sinyal TV, jaringan radio nirkabel dan menara ponsel, tetapi melalui pembangkit listrik sirkuit terkait dengan antena penerima, ditangkap dan dikonversikan menjadi tegangan DC yang dapat digunakan untuk perangkat elektronik berdaya rendah. *Radio Frequency (RF) energy harvesting* saat ini banyak dipancarkan oleh pemancar radio diseluruh dunia, seperti telepon genggam, BTS, sinyal Wi-Fi, stasiun siaran televisi / radio, dan energi dari perangkat telekomunikasi lain yang memancarkan sinyal. Perkembangan teknis yang canggih telah meningkatkan perangkat untuk menangkap energi dan mengubahnya menjadi energi listrik. Selain itu, kemajuan teknologi juga mendukung sistem *energy harvesting* ini sebagai solusi untuk meningkatkan efisiensi daya. Perangkat ini bebas dari konektor, kabel, dan panel akses baterai, serta memiliki kebebasan penempatan dan mobilitas pada saat pengisian maupun penggunaan. Aplikasi dari energi RF ini dapat digunakan untuk mengisi atau mengoperasikan perangkat berdaya rendah, seperti sensor medis, sistem pelacakan pada GPS atau RLTS, menyalakan sebuah LED, dan perangkat elektronik lain yang membutuhkan suplai daya rendah. [2]

2.3 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*. 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 / *rectifier* (dioda) dan filter (kapasitor). Pada dasarnya konsep penyearah gelombang dibagi dalam 2 jenis yaitu, Penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh. [6]

2.4 Voltage Multiplier

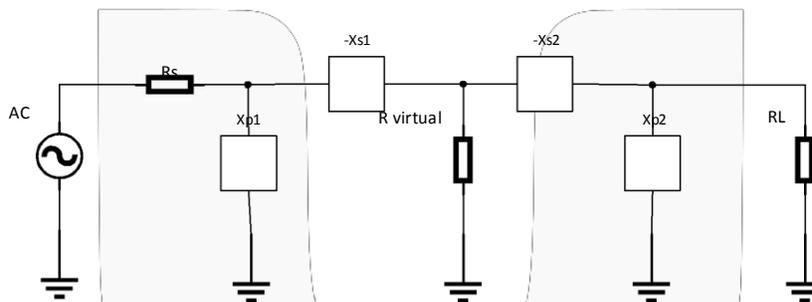
Voltage Multiplier merupakan teknik dalam *rectifier* untuk mengkonversi tegangan AC menjadi DC yang digunakan dalam banyak aplikasi sirkuit listrik dan elektronik seperti di *microwave ovens*, elektrostatik, alat uji tegangan tinggi dan lain-lain. Teknik ini juga merupakan tipe khusus dari rangkaian dioda penyearah yang berpotensi dapat menghasilkan tegangan output lebih besar dari tegangan input yang diterapkan. Selain itu teknik ini digunakan untuk menghasilkan tegangan DC yang tinggi dari pasokan tegangan AC yang relatif rendah. [7].



Gambar 2. 1 Rangkaian penyearah *Voltage Quadrupler*

2.5 Matching Impedance

Matching Impedance sering diperlukan dalam desain RF sirkuit untuk memberikan kemungkinan transfer maksimum daya maksimum antara sumber dan beban. Suatu saluran transmisi yang diberi beban yang sama dengan impedansi karakteristik mempunyai standing wave ratio (SWR) sama dengan satu, dan mentransmisikan sejumlah daya tanpa adanya pantulan. Selain itu efisiensi transmisi menjadi optimum jika tidak ada daya yang dipantulkan.



Gambar 2. 2 Rangkaian *Pi Matching*

Rangkaian matching tipe pi merupakan rangkaian yang menggunakan 2 buah kapasitor dan satu buah induktor untuk memaksimalkan transfer daya dari sumber ke beban.

$$R = \dots \quad (2.1)$$

Dimana:

R =resistor virtual

Rh =nilai impedansi terbesar antara sumber dan beban

$$\dots = \dots \quad (2.4)$$

$$\dots \quad (2.5)$$

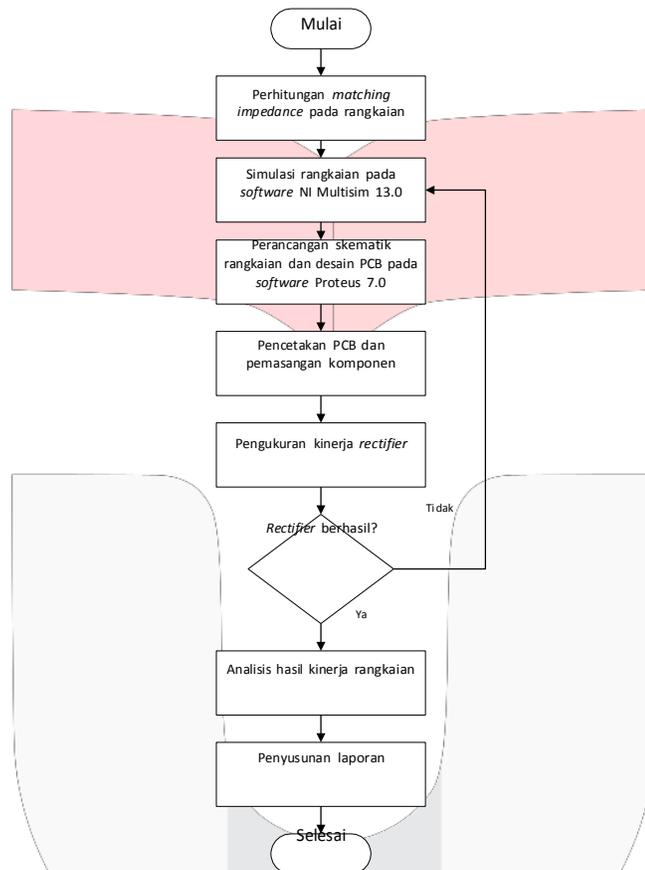
$$\sqrt{\dots} \tag{2.6}$$

$$\dots \tag{2.7}$$

$$\dots \tag{2.8}$$

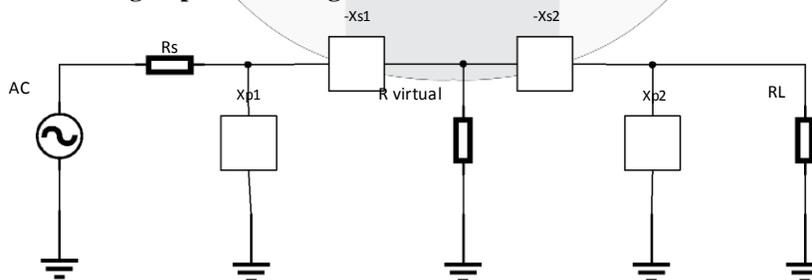
3. Perancangan Voltage Multiplier

Dibawah ini merupakan diagram alir untuk memudahkan perancangan dan realisasi sistem dalam penelitian.



Gambar 3. 1 Diagram alir perancangan dan realisasi sistem

3.1 Perancangan Matching Impedance Rangkaian



Gambar 3. 2 Rangkaian pi matching network

Pada rangkaian *voltage quadrupler* ini digunakan tipe dioda BAT 17 yang mempunyai nilai resistansi 5,112 ohm dan menggunakan kapasitor 1 nano farad untuk keempat kapasitor yang digunakan. Untuk mendapatkan nilai total impedansi rangkaian adalah sebagai berikut:

1. D4 dan C4 dihubungkan seri untuk mendapatkan Z1



2. Z1 dan D3 dihubungkan paralel untuk mendapatkan Z2

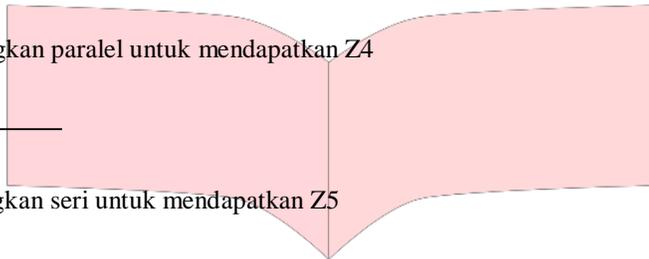
$$\frac{\left(\frac{\quad}{\quad} \right)}{\left(\quad \right)}$$

3. Z2 dan C3 dihubungkan seri untuk mendapatkan Z3



4. Z3 dan D2 dihubungkan paralel untuk mendapatkan Z4

$$\frac{\left(\frac{\quad}{\quad} \right)}{\left(\quad \right)}$$



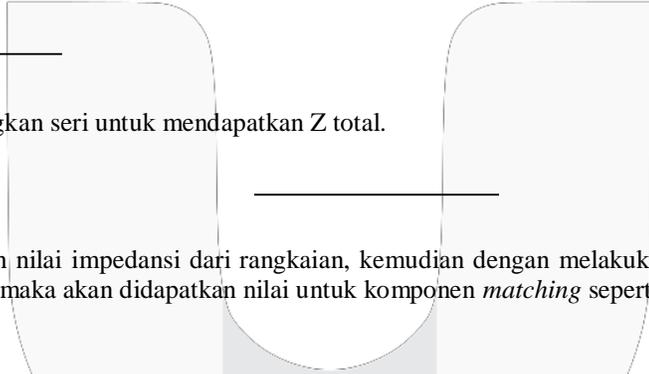
5. Z4 dan C2 dihubungkan seri untuk mendapatkan Z5



6. Z5 dan D1 dihubungkan paralel untuk mendapatkan Z6

$$\frac{\left(\frac{\quad}{\quad} \right)}{\left(\quad \right)}$$

7. Z6 dan C1 dihubungkan seri untuk mendapatkan Z total.

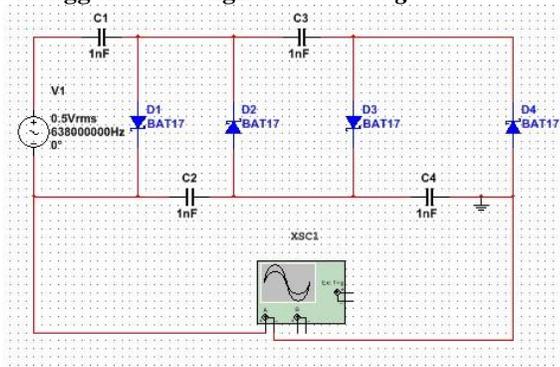


Setelah mendapatkan nilai impedansi dari rangkaian, kemudian dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan (2.3) sampai (2.8) maka akan didapatkan nilai untuk komponen *matching* seperti pada tabel berikut:

Tabel 3.1 Hasil perhitungan rangkaian matching

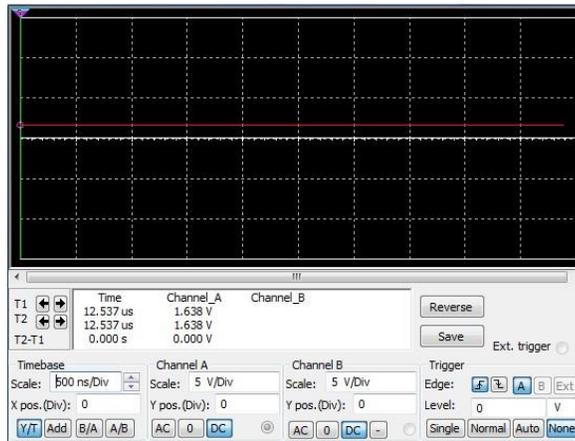
Elemen	Rs	jXs	Cs	L		
Nilai	75	0	27 pF	2.5 nH	27 pF	1.289-j0.465

3.2 Simulasi Rectifier tanpa menggunakan rangkaian matching

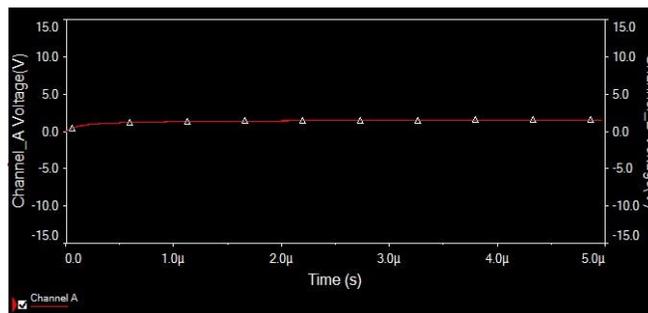


Gambar 3.3 Simulasi rangkaian penyearah Voltage Quadrupler

Pada gambar 3.4 dilakukan simulasi pada software NI Multisim 13.0 untuk percobaan rectifier. Rangkaian diatas merupakan rangkaian rectifier dengan jenis voltage quadrupler atau penyearah gelombang penuh dengan menggunakan 4 buah dioda schottky tipe BAT 17 sebagai penyearah gelombang yang dapat melipat gandakan tegangan.



Gambar 3.4 Hasil running simulasi NI Multisim 13.0



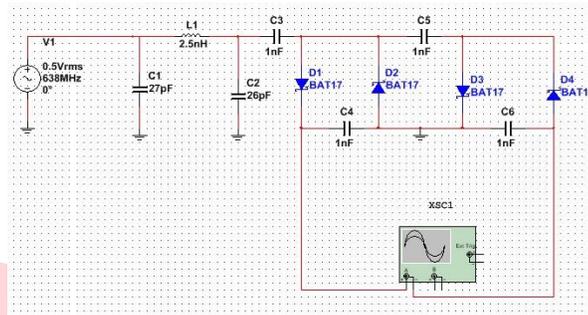
Gambar 3.5 Hasil running simulasi pada grapher view

Pada gambar 3.5 diatas merupakan hasil running rectifier pada software NI Multisim 13.0, dimana ouput signal pada rectifier telah berupa sinyal DC atau tegangan listrik. Sinyal DC pada output rectifier merupakan hasil konversi dari input rectifier yang berupa sinyal AC.

Prinsip kerja dari rangkaian ini dimulai pada saat input gelombang RF dari sumber frekuensi TV UHF memberikan level tegangan sisi positif maka D1 dan D3 akan mengalami forward bias sedangkan D2 dan D4 mengalami reverse bias. Pada siklus positif yang pertama ini, C1 akan menyimpan muatan sebesar tegangan yang diberikan pada

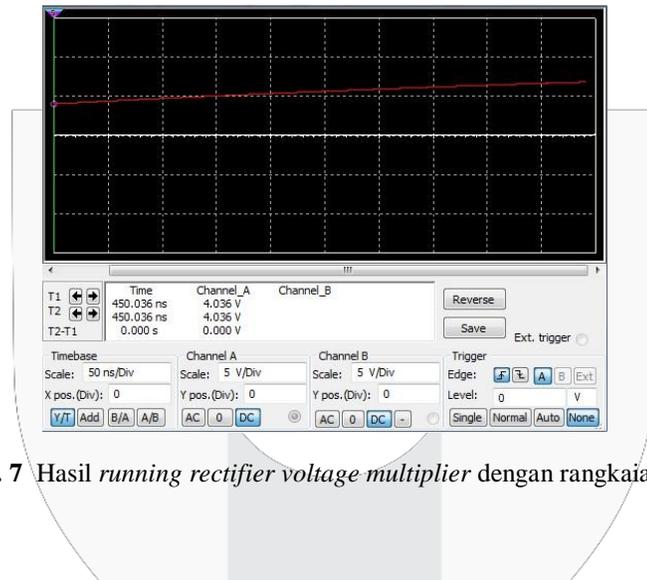
input. Selanjutnya pada siklus negatif yang pertama akan mengakibatkan D1 dan D3 menjadi reverse bias sedangkan D2 dan D4 menjadi forward bias. Pada siklus ini akan terjadi pengisian muatan pada C2 sehingga nilai muatan pada C2 bernilai 2 kali tegangan masuk. Pada siklus positif yang kedua dilakukan pengisian muatan terhadap C3 sehingga nilai muatan di C3 bernilai 2 kali tegangan input dan begitu pun sebaliknya pada siklus negatif yang terakhir, kapasitor C4 akan mengisi muatan sehingga bernilai 2 kali tegangan masuk. Output pada rangkaian ini diperoleh dari penjumlahan nilai muatan pada C2 dan C4 yang telah terisi.

3.3 Simulasi Rectifer dengan menggunakan rangkaian matching

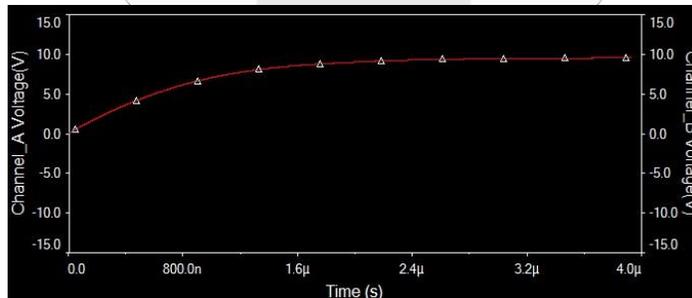


Gambar 3.6 Rectifer Voltage Multiplier dengan menggunakan rangkaian matching

Pada gambar 3.6 dilakukan simulasi pada software NI Multisim 13.0 untuk percobaan rectifier dengan menambahkan komponen rangkaian *matching impedance*. Rangkaian *matching impedance* terdiri dari masing-masing 2 kapasitor dan 1 induktor sebagaimana merupakan tipe rangkaian *pi matching network*.



Gambar 3.7 Hasil running rectifier voltage multiplier dengan rangkaian matching

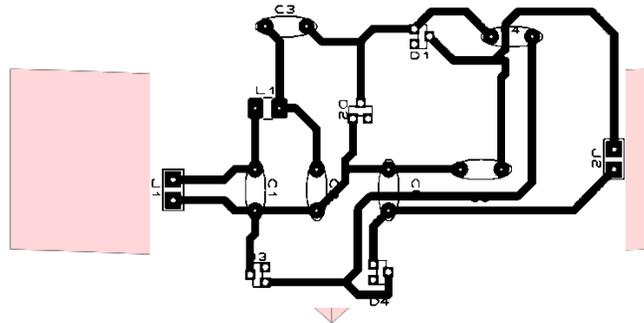


Gambar 3.8 Hasil *running* simulasi pada *grapher view*

Pada gambar 3.6 merupakan hasil *running* dari rangkaian *rectifier* dengan menggunakan komponen *matching impedance*. Dari gambar ini dapat terlihat bahwa tegangan DC pada output rangkaian *rectifier* yang menggunakan komponen *matching* jauh lebih besar dibandingkan dengan tidak menggunakan rangkaian *matching*. Hal ini cukup membuktikan bahwa rangkaian *matching impedance* memang bekerja karena mampu memaksimalkan daya kirim dari sumber ke beban.

3.4 Desain dan Perancangan Rangkaian Rectifier pada PCB

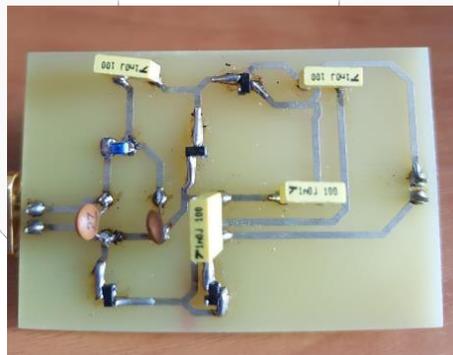
Setelah dilakukan simulasi pada software Multisim 13.0 dan mendapatkan hasil yang diinginkan kemudian rangkaian tersebut kembali disimulasikan pada software Proteus 7.0 untuk mendapatkan layout film yang akan dicetak menjadi PCB. Pada gambar dibawah ini merupakan hasil layout film rangkaian penyearah voltage multiplier dari simulasi Proteus 7.0 yang telah dioptimasi berdasarkan skematik yang didesain.



Gambar 3.9 Desain PCB dari hasil perancangan skematik

3.5 Pabrikasi

Untuk dapat melakukan proses pengujian dan pengukuran pada rangkaian penyearah voltage multiplier maka dilakukan proses realisasi. Proses realisasi atau pabrikasi pada tugas akhir ini dilakukan oleh pihak lain yaitu Spektra PCB untuk proses pencetakan PCB. Hal ini dilakukan karena keterbatasan kemampuan penulis dalam proses pencetakan PCB, baik dari segi peralatan maupun skill. Setelah proses pabrikasi selesai, maka didapatkan hasil realisasi yang terlihat pada gambar 3.9 dibawah ini. Seluruh pemasangan komponen dilakukan oleh penulis.



Gambar 3.10 Hasil realisasi rangkaian penyearah *voltage multiplier*

4. Pengukuran dan analisis

4.1 Pengujian dan analisis kinerja *rectifier*

Proses pengujian kinerja *rectifier* ini dilakukan untuk melihat tegangan keluaran dari rangkaian dengan menggunakan signal generator yang dihubungkan langsung dengan rangkaian *rectifier*. Pengujian dilakukan di laboratorium radar PPET Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Pengujian dilakukan pada level daya -30 dbm sampai

dengan 10 dbm. Frekuensi kerja yang digunakan adalah 636 MHz yang merupakan frekuensi tengah dari antena sumber yang akan digunakan. Hal ini dilakukan guna mengetahui kinerja rectifier di berbagai level daya terima. Pengujian ini pun dilakukan dengan 2 tahap, yaitu dengan tanpa menggunakan rangkaian matching dan dengan menggunakan rangkaian matching impedance untuk mengetahui perbandingan keduanya dan menguji kinerja dari rangkaian matching yang sudah dirancang. Keluaran dari pengujian ini berupa level tegangan DC pada output rectifier

Berikut merupakan grafik hasil pengujian rangkaian rectifier yang telah dipabrikasi:



Gambar 4. 1 Grafik hasil uji *rectifier* tanpa rangkaian *matching*

Pada gambar 4.1 di atas menunjukkan bahwa rangkaian penyearah *voltage multiplier* sudah bekerja sebagaimana mestinya dimana rangkaian penyearah *voltage multiplier* mampu mengkonversikan dan mengalikan tegangan AC yang diperoleh menjadi keluar tegangan DC. Dapat dilihat pada grafik di atas, keluaran tegangan DC pada rangkaian mencapai 0.397 pada level daya terima -30 dbm dan 1.381 pada level daya terima 10 dbm. Dari hasil pengujian di atas juga dapat disimpulkan bahwa semakin besar daya yang diterima oleh antena maka akan semakin besar pula keluaran tegangan yang dihasilkan.



Gambar 4. 2 Grafik hasil uji *rectifier* dengan menggunakan rangkaian *matching*

Pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa rangkaian rectifier dengan menggunakan rangkaian matching impedance akan menghasilkan output tegangan DC yang lebih besar. Terbukti dengan level daya terima yang bervariasi dari keseluruhan hasil pengujian menunjukkan bahwa *rectifier* dengan menggunakan rangkaian *matching* itu selalu lebih besar keluaran tegangan DC nya dibandingkan dengan *rectifier* tanpa menggunakan rangkaian *matching*. Hal ini juga membuktikan bahwa saluran transmisi yang *matching* akan menghasilkan transfer daya maksimum sehingga rangkaian mampu memaksimalkan daya kirim dari sumber ke beban.

4.2 Pengukuran dan analisis rectifier

Setelah melalui pengujian rectifier dengan menghubungkan signal generator pada rangkaian, selanjutnya rangkaian rectifier akan diukur. Pengukuran dilakukan dengan menghubungkan antenna sumber kepada rangkaian rectifier. Pengukuran ini dilakukan pada jarak yang berbeda, dengan acuan relay station yang terdapat di daerah Panyandaan, Cisarua. Hal ini juga dilakukan guna mengetahui seberapa jauh jarak antenna sumber dengan relay station untuk dapat membuat rectifier bisa mengeluarkan tegangan DC sesuai dengan yang diinginkan.

Berikut merupakan tabel hasil pengukuran rangkaian rectifier beserta dengan jarak antara antenna sumber dengan relay station yang berada di daerah Panyandaan, Cisarua.



Gambar 4. 3 Grafik hasil pengukuran rangkaian

Pengukuran ini dilakukan di 4 tempat yang berbeda disesuaikan dengan kebutuhan jarak yang ingin diuji. Yang pertama berjarak sekitar 500 meter dari *relay station*, yang kedua di komplek perumahan yang berjarak sekitar 5 km dari *relay station*, yang ketiga di Gedung PPET LIPI yang berjarak 10 km dari *relay station* dan yang terakhir dilakukan di komplek perumahan Sukabirus yang berjarak sekitar 20 km dari *relay station*. Dari hasil pengukuran yang didapat menunjukkan bahwa jarak antara antenna sumber pada rangkaian penyearah dengan *relay station* sangat mempengaruhi keluaran tegangan DC pada rangkaian. Hasil keluaran yang terbesar menunjukkan 2.778 V pada jarak sekitar 500 meter dari *relay station*. Penurunan nilai tegangan pada jarak yang semakin jauh dengan *relay station* bisa jadi diakibatkan oleh loss-loss yang disebabkan oleh cuaca, kontur tanah dan lain sebagainya.

4.3 Pengukuran dan analisis kuat arus pada rangkaian

Setelah melakukan pengujian dan pengukuran untuk mengetahui keluaran tegangan DC pada output rangkaian penyearah, kemudian dilakukan pengukuran untuk mengetahui kuat arus yang terdapat pada rangkaian *rectifier*. Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan *function generator* sebagai input dari rangkaian penyearah dan multimeter sebagai alat ukur nya.



Gambar 4. 4 Grafik pengukuran kuat arus pada rangkaian

Pada grafik pengukuran di atas turut membuktikan bahwa level daya terima pada rangkaian akan mempengaruhi besarnya muatan yang mengalir pada rangkaian. Pada input 0.5 Vpp yang jika dikonversikan ke dbm pada impedansi 50 ohm yaitu sebesar -2 dbm, kuat arus yang terukur pada multimeter sebesar 17 mA. Sedangkan pada input 3 Vpp atau 14 dbm, kuat arus rangkaian yang terukur pada multimeter sebesar 70 mA.

5. Kesimpulan

Dari studi yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. Telah dirancang bangun sebuah rangkaian penyearah tipe *voltage multiplier*, baik secara simulasi dan fabrikasi, pada frekuensi resonan TV UHF 470-806 MHz sebagai pengkonversi energi RF kedalam bentuk tegangan listrik DC.
2. Performansi rangkaian penyearah *voltage multiplier* dengan dioda BAT 17 pada simulasi NI Multisim 13.0 memiliki hasil simulasi Tegangan DC yang baik, dapat meningkatkan hasil tegangan DC hingga 4 bahkan 5 kali dari daya input. Rangkaian mampu mengkonversi daya input menjadi tegangan hingga 11,562 V dengan level daya 20 dBm dan mencapai tegangan DC sebesar 0,9 V saat level daya input sebesar 0 dBm.
3. Performansi rangkaian penyearah *voltage multiplier* dengan dioda *Schottky* BAT 17 setelah difabrikasi dan pengukuran memperoleh kecenderungan hasil yang sesuai. Rangkaian mampu mengkonversi daya input menjadi tegangan hingga 1.224 V pada level daya 0 dBm. Walaupun terjadi penurunan, akan tetapi tidak berbeda secara signifikan dengan rangkaian yang disimulasikan. Pada rangkaian penyearah *voltage multiplier* yang disimulasikan pada software NI Multisim 13.0, rangkaian dengan input AC sebesar 0 dbm akan mengeluarkan tegangan DC sebesar 1,622 V.
4. Simulasi dalam software NI Multisim-13.0 bersifat ideal, sehingga faktor-faktor sensitif tidak banyak diperhitungkan. Sedangkan dalam pengukuran, hal-hal tersebut dapat mengubah performansi kerja rangkaian penyearah *voltage multiplier* menjadi rugi-rugi (*losses*), seperti faktor solder dan nilai toleransi komponen

Daftar Pustaka

1. Harpawi, noptin. 2013. *Design Energy Harvesting Device of UHF TV Stations*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
2. Ostaffe, Harry. 2014. *RF-based Wireless Charging and Energy Harvesting Enables New Applications and Improves Product Design*.
3. Nurizal Sakti, Ivan. 2013. *Modifikasi antena televisi jenis yagi sebagai penguat sinyal modem menggunakan sistem induksi*. Semarang: Universitas Negeri Semarang
4. Di akses Januari 2015 https://id.wikipedia.org/wiki/Frekuensi_ultra_tinggi
5. Bastian Damanik, Andreas. 2011. *PERENCANAAN SPEKTRUM DIGITAL DIVIDEND PADA PITA FREKUENSI ULTRA HIGH FREQUENCY DI WILAYAH PERBATASAN INDONESIA*. Jakarta: Universitas Indonesia.
6. Elektronika dasar. 2012. *Konsep dasar penyearah gelombang*. Diakses Januari 2015 elektronika-dasar.web.id/
7. B.Allard, V.Marian, C.Vollaire. "Strategy for Microwave Energy Harvesting from Ambient Field or a Feeding Source". IEEE Transactions on Power Electronics. November 2012.
8. HSMS- 282x Series, "Surface Microwave Schottky Detector Diodes". Data Sheet.
9. Nopan Gunawan, Putu. 2012. *Penyearah dan Filter*. Makassar: Universitas Hasanuddin
10. Murtala Zungeru, Adam. *Radio Frequency Energy Harvesting and Management for Wireless Sensor Networks*.
11. K, Muhammad. 2015. *TEORI DASAR ANTENA DAN PROPAGASI GELOMBANG RADIO*. Medan: Universitas Sumatera Utara
12. Nugraga, Rawan. 2014. *PERANCANGAN DAN REALISASI RECTENNA (RECTIFIER ANTENA) UNTUK FREKUENSI 900 MHz – 5 GHz SEBAGAI SUMBER DAYA ALTERNATIF UNTUK MENGISI BATERAI HANDPHONE*. Bandung: Universitas Telkom
13. Sandhi, I Made. 2014. *Memanen Energi Dari Radiasi Gelombang Elektromagnetik*. Mataram: Universitas Mataram.

