

PERBANDINGAN DAYA KELUARAN RECTENNA SINGLEBAND DAN MULTIBAND PADA RF ENERGY HARVESTING 900-2400 MHz UNIVERSITAS TELKOM

COMPARISON OF THE OUTPUT POWER RECTENNA SINGLEBAND AND MULTIBAND RF ENERGY HARVESTING AT 900 – 2400 MHz TELKOM UNIVERSITY

Achmad Rizal Ridwan Mattulada¹, Zulfi², Yuyu Wahyu³

^{1,2}Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³Laboratorium Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET) – LIPI Bandung

¹achmadrizalrm@student.telkomuniversity.ac.id, ²zulfi@telkomuniversity.ac.id, ³yuyu.wahyu@lipi.go.id

Abstrak

Gelombang radio frekuensi (RF) yang dipancarkan dari sumber-sumber pemancar teknologi GSM, UMTS, LTE, Wifi, televisi analog dan digital. Sumber pemancar gelombang RF yang banyak digunakan pada pita frekuensi 900-2400 MHz, karena banyak Base Transceiver Station (BTS) operator selular tersebar hampir di seluruh kota besar maupun kecil, serta akses poin dari teknologi wifi. Gelombang RF tersebut dapat dipanen secara maksimal sebagai sumber energi alternatif dengan sistem RF Energy Harvesting. Sistem RF Energy Harvesting menggunakan antenna dan rectifier yang saling diintegrasikan dinamakan Rectenna. Antena digunakan untuk menangkap gelombang radio di udara, dan rectifier sebagai penyearah gelombang RF menjadi tegangan DC.

Pada tugas akhir ini telah dilakukan perancangan dan realisasi rectenna (Rectifier Antena) dengan membandingkan dua tipe antena yang digunakan yaitu antena singleband dan multiband, kemudian menganalisis perbedaan daya dan tegangan keluaran. Antena yang direalisasikan untuk jenis multiband adalah antena PIFA L-slot dan untuk jenis singleband adalah antena mikrostrip patch rectangular.

Antena mikrostrip singleband memiliki bandwidth 32 MHz yang bekerja pada rentang frekuensi 1777-1809 MHz dengan gain 0,3479 dB. Antena PIFA multiband memiliki bandwidth 14 MHz yang bekerja pada rentang frekuensi 940-954 MHz dengan gain -0,3498 dB, bandwidth 25 MHz bekerja pada rentang frekuensi 1796-1821 MHz dengan gain 0,1716 dB, dan bandwidth 26 MHz bekerja pada rentang frekuensi 2344-2370 MHz dengan gain 1,8941 dB. Rectifier yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan dioda Schottky tipe BAT17 yang bekerja pada rentang frekuensi UHF (300-3000 MHz). Hasil pengukuran rectenna singleband menunjukkan daya keluaran tertinggi mencapai -32,43 dBm dan tegangan keluaran tertinggi mencapai 9,2 mVolt pada jarak 50 cm. Hasil pengukuran rectenna multiband menunjukkan daya keluaran tertinggi mencapai -25,17 dBm dan tegangan keluaran tertinggi mencapai 19,7 mVolt pada jarak 50 cm.

Kata kunci : *Radio Frequency, Rectenna, Rectifier, Antenna, Energy Harvesting, Dioda Schottky.*

Abstract

Radio frequency (RF) emitted from sources emitting technology GSM, UMTS, LTE, Wifi, analog and digital television. Transmitter RF wave source that is widely used on 900-2400 MHz frequency bands, as many Base Transceiver Station (BTS) mobile operators spread across large or small cities, as well as access points of wifi technology. The RF waves can be harvested to the maximum as alternative energy sources by RF Energy Harvesting system. RF Energy Harvesting system use antenna and rectifier are integrated is called Rectenna. The antenna used to capture radio waves in the air, and The antenna used to capture radio waves in the air, and rectifier as rectifier RF wave into DC voltage.

In this final project has been done the design and realization of rectenna (Rectifier Antenna) by comparing two types of antennas used are singleband and multiband antennas, then analyze the difference of power and output voltage. Antenna realized for multiband type is PIFA L-slot antenna and for singleband type is rectangular patch microstrip antenna.

Singleband microstrip antennas have a bandwidth of 32 MHz working in the frequency range 1777-1809 MHz with a gain of 0.3479 dB. The multiband PIFA antenna has a bandwidth of 14 MHz working in the 940-954 MHz frequency range with gain of -0.3498 dB, bandwidth of 25 MHz working in the 1796-1821 MHz frequency range with gain of 0.1716 dB, and bandwidth of 26 MHz working in the frequency range 2344-2370 MHz with gain of 1.8941 dB. The rectifiers used in this study, using a BAT17 type Schottky Diode that works in the UHF frequency range (300-3000 MHz). The result of rectenna singleband measurement shows the highest output power reaches -32.43 dBm and the highest output voltage reaches 9.2 mVolt at a distance of 50 cm. Multiband rectenna measurement results show the highest output power reaches -25.17 dBm and the highest output voltage reaches 19.7 mVolt at a distance of 50 cm.

Keyword: *Radio Frequency, Rectenna, Rectifier, Antenna, Energy Harvesting, Dioda Schottky.*

1. Pendahuluan

Konsep pemanen dan transfer energi nirkabel bukanlah hal yang baru, hal ini telah dilakukan lebih dari 100 tahun yang lalu oleh Tesla [1]. RF Energy Harvesting telah diusulkan dan diteliti sejak 1950-an dengan menggunakan sumber gelombang mikro berdaya tinggi [2], telah diusulkan untuk menyalakan helikopter [3], satelit tenaga surya [4], sistem SHARP [5], dan untuk sistem RFID [6].

Pada penelitian-penelitian sebelumnya sistem RF Energy Harvesting dengan menggunakan rectenna telah berhasil mengkonversi gelombang radio menjadi tegangan DC. Dalam realisasi sistem rectenna, rangkaian rectifier yang berfungsi untuk mengkonversi daya RF menjadi tegangan DC menjadi bagian yang sangat penting. Selain untuk mengkonversi atau menyearahkan daya 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 volatge multiplier yang mampu bekerja efektif dan efisien pada rangkaian dengan input bertegangan rendah namun menghasilkan tegangan keluaran berlipat ganda. Pada penelitian yang dilakukan Azlul Fadhly Oka dan Nji Raden Peospawati, merancang bangun prototipe sistem daya telepon selular berbasis RF Energy Harvesting dan Sel Surya yang menggunakan rangkaian rectifier volatge multiplier 5-stages mampu menghasilkan tegangan keluaran DC sebesar 2,25 Volt dengan nilai tegangan masukan sebesar 0,5 Volt [7]. Bahkan, dengan pengembangan studi dan ketersediaan alat yang makin mudah, juga telah diterapkan sistem rectifier dengan teknik voltage multiplier untuk menghasilkan keluaran tegangan lebih besar [8].

Seperti yang kita ketahui di sekitar kita terpancar berbagai macam gelombang elektromagnetik dengan frekuensi operasi yang berbeda-beda, contoh Radio, Televisi, Wifi, Satelit, Telepon Seluler dan masih banyak lagi. Jadi dapat disimpulkan begitu banyak gelombang radio yang bekerja pada range frekuensi tertentu yang dapat dipanen oleh sistem Radio Frequency Energy Harvesting. Dengan ketersediaan range frekuensi yang banyak tersebut, maka rancangan dari sistem rectenna (Rectifier Antenna) harus mempunyai karakteristik yang mampu bekerja di berbagai frekuensi (multi frekuensi). Maka diperlukan antena dengan karakteristik bandwidth yang sesuai untuk memaksimalkan kinerja dari sistem Radio Frequency Energy Harvesting. Jenis antena yang sesuai dengan sumber-sumber pemancar di udara bebas dengan kondisi multi frekuensi yang dimaksud adalah antena jenis multiband atau wideband. Pada penelitian yang dilakukan Budi Herdiana, Heroe Wijanto, dan Iswahyudi Hidayat, rangkaian penyearah RF ke DC bertingkat untuk multi frekuensi kerja pada sistem pengisian listrik secara nirkabel, dimana dalam sistemnya mampu menangkap dan mengkonversi sinyal RF dari berbagai range frekuensi menjadi sumber energi baru [9]. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan Muh. Qadri Qautsar, Budi Prasetya, dan Yuyu Wahyu, perancangan dan realisasi rectenna untuk frekuensi 900 MHz dengan output mencapai 1,2 Volt sebagai pencatu daya alternatif untuk jam analog hanya menangkap dan memanen energi dari sinyal gelombang RF pada satu frekuensi dengan menggunakan antena jenis singleband juga dapat menghasilkan tegangan keluaran sebesar 0,62 Volt dengan nilai masukan sebesar -10 dBm [10]. Pada penelitian yang dilakukan oleh Rawan Nugraha, Unang Sunarya, dan Yuyu Wahyu, perancangan dan realisasi rectenna (Rectifier Antenna) untuk frekuensi 900 MHz - 5GHz sebagai sumber daya alternatif untuk mengisi baterai handphone menggunakan antena mikrostrip patch rectangular dengan jenis wideband atau broadband mampu menangkap dan memanen sinyal gelombang RF dengan range frekuensi 600 MHz – 5 GHz [11].

Dapat dilihat pada penelitian-penelitian sebelumnya sistem rectenna yang telah dirancang mampu memanen dan mengkonversi sinyal gelombang RF di udara bebas menjadi tegangan DC yang bisa dijadikan sebagai sumber catuan atau sumber energi baru, namun belum ada yang secara spesifik menganalisis pengaruh parameter-parameter antena terhadap tegangan keluaran yang dihasilkan, khususnya masalah jenis bandwidth antena. Pada tugas akhir ini saya akan mencoba menganalisis pengaruh bandwidth antena terhadap tegangan keluaran pada sistem Radio Frequency Energy Harvesting, dengan kata lain tujuan penelitian ini adalah membandingkan daya dan tegangan keluaran pada sistem rectenna singleband dan rectenna multiband kemudian menganalisis pengaruh perbedaan parameter bandwidth antena pada sistem rectenna yang direalisasikan.

2. Dasar Teori

2.1 Energy Harvesting

Perkembangan energy harvesting dan kemajuan di bidang elektronika yang terus mengembangkan perangkat-perangkat berkebutuhan daya kecil akan mendorong penelitian dan pengembangan pemanfaatan sinyal RF sebagai sumber energi nirkabel yang bisa diandalkan. Sampai saat ini, perkembangan RF energy harvesting baru mampu menghasilkan daya yang relatif kecil (biasanya hanya berkisar pada besaran miliWatt) tergantung pada teknologi yang digunakan [12]. Rapat daya sinyal gelombang RF yang tersedia di udara bebas lingkungan perkotaan yang dapat dipanen dengan sistem rectenna broadband maupun narrowband menjadi daya DC dinilai

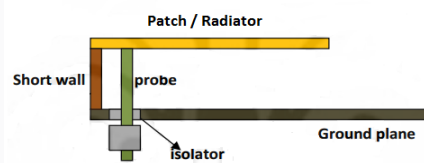
masih sangat rendah untuk keperluan sumber catuan perangkat bergerak. Daya terima atau input RF sistem rectenna dapat ditingkatkan dengan penggunaan antena array, namun ukuran rectenna akan menjadi lebih besar [13] sehingga dapat mengurangi nilai mobility dari sistem RF Energy Harvesting. Perkembangan RF energy harvesting sejalan dengan pengembangan dan penyempurnaan perangkat-perangkat hemat daya dan berkebutuhan daya kecil.

Pemilihan range frekuensi menjadi pertimbangan yang sangat penting dalam implementasi sistem RF Energy Harvesting, sebagai contoh untuk aplikasi dalam ruangan sebaiknya menggunakan panjang gelombang yang rendah atau dengan kata lain menggunakan frekuensi tinggi pada besaran GHz, sedangkan untuk di luar ruangan akan lebih baik pemilihan range frekuensi kerja sistem RF Energy Harvesting pada pita frekuensi VHF atau UHF. Salah satu solusi yang menunjang sistem RF Energy Harvesting agar dapat bekerja optimal di dalam maupun di luar ruangan adalah dengan merancang sistem rectenna broadband atau wideband agar mencakup beberapa range frekuensi, namun dengan sistem rectenna broadband umumnya memberikan masalah pada matching impedance rangkaian sehingga mengurangi efisiensi (low conversion efficiency) sistem rectenna dan berdampak pada daya keluaran yang dihasilkan [14].

Radio Frequency (RF) saat ini banyak dipancarkan oleh pemancar radio diseluruh dunia, seperti BTS, akses poin Wi-Fi, stasiun siaran televisi / radio, dan energi dari perangkat telekomunikasi lain yang memancarkan sinyal. Kemajuan teknologi juga telah menjadi tuntutan untuk mendukung sistem energy harvesting ini sebagai solusi efisiensi dan pemanfaatan daya ataupun sebagai sumber daya cadangan. Perangkat ini dirancang agar memiliki mobilitas yang cukup tinggi pada saat pengisian maupun penggunaan. Aplikasi dari RF energy harvesting ini dapat digunakan untuk mencatu atau megoperasikan perangkat berdaya rendah, seperti perangkat sensor wireless (WSN) [15][16], sensor medis, sistem pelacakan pada GPS atau RLTS, menyalakan sebuah LED, dan perangkat elektronik lain yang membutuhkan suplai daya rendah dan hemat daya.

2.3 Antena PIFA

PIFA (Planar Inverted F Antenna) adalah salah satu jenis dari Linier Inverted F Antenna (IFA) dengan kawat radiator yang diganti dengan sebuah lempengan datar untuk meningkatkan bandwidth. PIFA tersusun atas ground plane, elemen peradiasi, kawat catuan yang tersambung dengan ground plane dan elemen peradiasi, dan shorting pin yang menghubungkan ground plane dengan top plate. PIFA merupakan pengembangan dari antena yang telah ada, yaitu ILA (Inverted-L Antena) dan IFA (Inverted-F Antena) [17].



Gambar 1. Struktur antena PIFA

Frekuensi resonan dari antena PIFA dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.1 [18].

$$f_o = \frac{c}{4(W + L)} \quad (2.1)$$

Keterangan:

f_o = Frekuensi resonan (Hz)

c = Kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

W = Lebar patch (m)

L = Panjang patch (m)

Namun persamaan di atas tidak terlalu tepat karena banyak faktor lain yang mempengaruhi frekuensi resonan, seperti tinggi antena, lebar *feed*, lebar *short*, posisi *feed*, dan posisi *short*. Untuk menentukan frekuensi resonan dapat digunakan persamaan [19].

$$f_o = \frac{c}{3W + 5,6L + 3,7h - 3W_f - 3,7W_s - 4,3L_b - 2,5L_s} \quad (2.2)$$

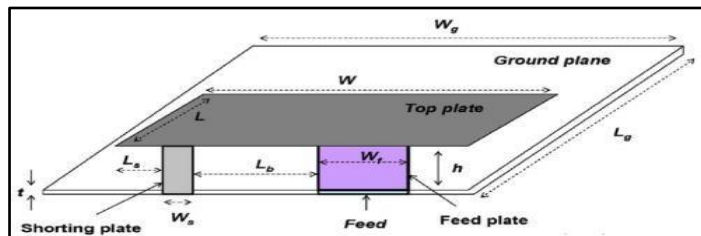
Keterangan:

f_o = Frekuensi resonan (Hz)

c = Kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

- W = Lebar patch (m)
 L = Panjang patch (m)
 h = Tinggi antenna (m)
 W_f = Lebar feed (m)
 W_s = Lebar short (m)
 L_b = Jarak antara feed dan short (m)
 L_s = Jarak short dari ujung patch (m)

Penjelasan parameter pada persamaan di atas ditunjukkan oleh gambar 2 [19].



Gambar 2. Konfigurasi PIFA

2.4 Rectifier

Rectifier adalah perangkat elektronika yang berfungsi mengubah atau mengkonversi tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC). Komponen utama dalam penyearah gelombang adalah dioda yang dikonfigurasi secara forward bias. Pada tugas akhir ini, tegangan AC akan disamakan dengan frekuensi. Karena frekuensi merupakan tipe gelombang sinusoidal seperti tegangan AC.

Ada 3 bagian utama dalam penyearah gelombang pada suatu power supply yaitu, penurun tegangan (transformer), penyearah gelombang / rectifier (dioda) dan filter (kapasitor) [20]. Tetapi pada tugas akhir ini, rangkaian rectifier hanya menggunakan dioda dan kapasitor. Pada dasarnya konsep penyearah gelombang dibagi dalam 2 jenis yaitu, penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh.

Dalam realisasi sistem rectenna, rangkaian rectifier yang berfungsi untuk mengkonversi daya RF menjadi tegangan DC menjadi bagian yang sangat penting. Selain untuk mengkonversi atau menyearahkan daya 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 volatge multiplier yang mampu bekerja efektif dan efisien pada rangkaian dengan input bertegangan rendah namun menghasilkan tegangan keluaran berlipat ganda.

3. Perancangan dan Simulasi

3.1 Spesifikasi Antena

Penentuan spesifikasi dari antena yang dibuat, didasarkan dari tujuan yang akan diraih dari antena yang akan dibuat. Antena microstrip rectangular patch frekuensi 1800 MHz yang dibuat dengan jenis singleband. Antena PIFA dibuat multiband dengan frekuensi 900 MHz, 1800 MHz, dan 2400 MHz.

Tabel 1. Spesifikasi Antena Mikrostrip Singleband

No	Parameter	Keterangan
1	Frekuensi	1800 MHz
2	Pola Radiasi	Omnidireksional
3	Polarisasi	Linier
4	Gain	≥ 0 dB
5	VSWR	≤ 2

Tabel 2. Spesifikasi Antena PIFA

No	Parameter	Keterangan
1	Frekuensi	900, 1800, 2400 MHz
2	Pola Radiasi	Omnidireksional
3	Polarisasi	Linier
4	Gain	≥ 0 dB
5	VSWR	≤ 2

3.2 Perancangan Dimensi Antena

Perhitungan dimulai dengan perhitungan *patch*, catuan, dan jarak antar *patch* dari satu antena. Perhitungan menggunakan rumus eksak yang dapat diperoleh dari berbagai sumber. Kemudian, antena akan

disusun supaya dapat memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Tabel 3 dan table 4 berisikan dimensi awal antenna yang diperoleh dengan menggunakan rumus.

Tabel 3. Dimensi Awal Antena Mikrostrip Singleband

Tabel 4. Dimensi Awal Antena PIFA

<i>Parameter</i>	Keterangan	<i>Dimensi (mm)</i>		<i>Parameter</i>	Keterangan	<i>Dimensi (mm)</i>
W	Lebar patch	50,71		W	Lebar patch	37
L	Panjang patch	39,42		L	Panjang patch	39
Wf	Lebar feedline	3,05		h	Tinggi antenna	3
Lf	Panjang feedline	19,86		W_f	Lebar feed	0
Wg	Lebar groundplane	60,31		W_s	Lebar short	3
Lg	Panjang groundplane	49,02		L_b	Jarak antara feed dan short	0
				L_g	Panjang groundplane	57

Pada perancangan antenna PIFA pada tugas akhir ini dilakukan penambahan *slot* yang memiliki bentuk L pada *patch* antenna. Untuk menentukan panjang dan lebar *slot* dapat dihitung menggunakan persamaan 3.1 berikut:

$$W_s + L_s = \frac{\lambda}{4} \quad (3.1)$$

Agar menghasilkan 2 frekuensi resonansi lainnya yaitu 1800 MHz dan 2400 MHz, maka dilakukan penambah 2 buah *slot* pada *patch* PIFA.

1. *Slot* 1 untuk frekuensi 1800 MHz.

$$W_{s1} + L_{s1} = 41,667mm$$

$$W_{s1} = 20,833mm$$

$$L_{s1} = 20,833mm$$

2. *Slot* 2 untuk frekuensi 2400 MHz.

$$W_{s2} + L_{s2} = 31,25mm$$

$$W_{s2} = 15,625mm$$

$$L_{s2} = 15,625mm$$

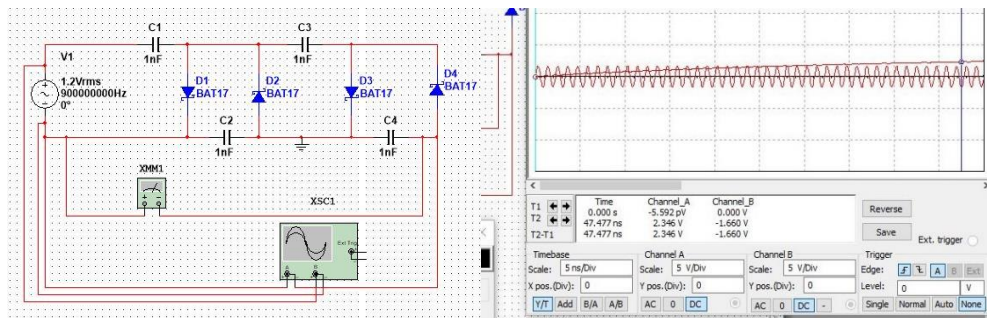
3.3 Optimasi dan Simulasi Antena

Setelah dirancang dan disimulasikan pada software CST, parameter-parameter antenna PIFA yang didapatkan kurang maksimal, sehingga desain antenna simulasi harus dioptimasi terlebih dahulu. Optimasi yang dilakukan dengan mengubah panjang dimensi dari komponen-komponen antenna PIFA itu sendiri. Kemudian didapatkan hasil optimasi yang sesuai dengan spesifikasi antenna yang diharapkan yang dapat ditunjukkan dengan gambar dibawah.

Pada simulasi antenna PIFA setelah dioptimasi bekerja pada rentang frekuensi 904-914 MHz, pada rentang frekuensi 1790-1806 MHz, dan pada rentang frekuensi 2402-2421 MHz. Hasil simulasi *bandwidth* yang dihasilkan setelah dioptimasi masih tampak sempit. Sehingga batas minimum penentuan *bandwidth* diturunkan pada return loss ≤ -6 dB yang masih dalam batas toleransi untuk antenna PIFA. Pada frekuensi 900 dihasilkan *bandwidth* 16 MHz, frekuensi 1800 dihasilkan *bandwidth* 27 MHz, dan frekuensi 2400 *bandwidth* 31 MHz.

Gain yang dihasilkan dari rancangan antenna PIFA pada simulasi telah memenuhi target. Pada frekuensi 900 Mhz dengan gain 0,95 dB, frekuensi 1800 MHz dengan gain 1,61 dB dan frekuensi 2400 dengan gain 3,34 dB. Nilai *gain* untuk semua frekuensi telah sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan yaitu > 0 dB.

3.3 Simulasi Rectifier



Gambar 6. Hasil running simulasi NI Multisim 13.0

Hasil running simulasi rectifier pada software Multisim, dimana output signal pada rectifier telah berupa tegangan DC dengan penguatan 4 kali dari sinyal input. Sinyal DC pada output rectifier merupakan hasil konversi dari input rectifier yang berupa sinyal AC.

4. Pengukuran dan Analisis

Metode pengukuran yang digunakan dan dipaparkan analisis hasil pengukuran yang telah dilakukan. Pada project atau tugas akhir ini, ada 3 tahap pengukuran yang dilakukan, antara lain pengukuran antenna, pengukuran rectifier, dan pengukuran rectenna.



Gambar 7. Hasil output rectifier pada Osilator



Gambar 8. Pengukuran Rectenna di ruang Anechoic Chamber

Hasil pengukuran antenna mikrostrip singleband memiliki bandwidth 32 MHz yang bekerja pada rentang frekuensi 1777-1809 MHz dengan gain 0,3479 dB. Antena PIFA multiband memiliki bandwidth 14 MHz yang bekerja pada rentang frekuensi 940-954 MHz dengan gain -0,3498 dB, bandwidth 25 MHz bekerja pada rentang frekuensi 1796-1821 MHz dengan gain 0,1716 dB, dan bandwidth 26 MHz bekerja pada rentang frekuensi 2344-2370 MHz dengan gain 1,8941 dB.

Tabel 5. Perbandingan daya keluaran Rectenna

Jarak	Daya Keluaran (Rectenna Singleband)	Daya Keluaran (Rectenna Multiband)
50 cm	-32,43 dBm	-25,17 dBm
100 cm	-36,58 dBm	-29,49 dBm
150 cm	-43,29 dBm	-34,54 dBm
200 cm	-49,42 dBm	-39,49 dBm

Tabel 6. Perbandingan tegangan keluaran Rectenna

Pengukuran ke-	Output Rectenna Singleband (mVolt)	Output Rectenna Multiband (mVolt)
1	8.6	19,7
2	9.2	19,6
3	8.7	18,9
4	7.9	17,8
5	9.1	17,6
rata-rata	8,7 mV	18,72 mV

Hasil pengukuran rectenna singleband menunjukkan daya keluaran tertinggi mencapai -32,43 dBm dan tegangan keluaran tertinggi mencapai 9,2 mVolt pada jarak 50 cm. Hasil pengukuran rectenna multiband menunjukkan daya keluaran tertinggi mencapai -25,17 dBm dan tegangan keluaran tertinggi mencapai 19,7 mVolt pada jarak 50 cm.

Nilai keluaran rectenna masih terbukti kecil, dan membutuhkan penambahan stage pada rangkaian rectifier. Dari output yang dihasilkan, dapat diambil beberapa analisis. Adapun analisis tersebut antara lain:

1. Realisasi dari rectifier sangat perlu diperhatikan mulai dari karakteristik komponen dari rangkaian rectifier agar sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan.
2. Jumlah stage dari rectifier dinilai masih belum cukup, semakin banyak stage, semakin tinggi tegangan keluaran rectifier.
3. Pada pengukuran rectenna, dapat dianalisis bahwa rectifier dengan metode voltage multiplier bekerja menguatkan sinyal masukan atau dengan kata lain mampu melipat gandakan tegangan input pada frekuensi tertentu.
4. Daya dan tegangan keluaran rectenna multiband lebih besar dibanding rectenna singleband.
5. Faktor propagasi gelombang di udara yang berubah-ubah sangat mempengaruhi keluaran rectenna.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa poin yang dapat dijadikan kesimpulan :

1. Performansi rangkaian rectifier voltage multiplier dengan dioda Schottky BAT17 pada simulasi software NI Multisim 13.0 memiliki hasil simulasi Tegangan DC yang baik, dapat meningkatkan hasil tegangan DC hingga 4 bahkan 6 kali dari daya input.
2. Performansi rangkaian rectifier voltage doubler 3 stage dengan dioda Schottky BAT17 serta kapasitor 1 nF setelah dipabrikasi dan pengukuran memperoleh kecenderungan hasil yang kurang optimal sesuai spesifikasi yang diharapkan.
3. Nilai tegangan maksimum yang dihasilkan rectifier yaitu pada frekuensi 10 MHz menghasilkan tegangan keluaran 10,49 Volt dengan inputan 1 Volt.
4. Nilai daya maksimum yang dihasilkan sistem rectenna multiband pada ruang pengukuran adalah -25,17 dBm. Nilai daya maksimum yang dihasilkan sistem rectenna singleband pada ruang pengukuran adalah -32,43 dBm.
5. Nilai tegangan maksimum yang dihasilkan sistem rectenna multiband pada ruang pengukuran adalah 19,7 mV. Nilai tegangan maksimum yang dihasilkan sistem rectenna singleband pada ruang pengukuran adalah 9,2 mV.
6. Sistem rectenna multiband yang menggunakan antena jenis multiband untuk memanen sinyal gelombang elektromagnetik pada beberapa range frekuensi mampu menghasilkan daya dan tegangan yang lebih besar dibandingkan sistem rectenna singleband yang menggunakan antena jenis singleband yang hanya bisa menangkap sinyal gelombang elektromagnetik pada satu range frekuensi.
7. Semakin banyak stage yang digunakan pada rangkaian rectifier, maka semakin tinggi nilai tegangan keluaran yang akan dihasilkan.
8. Semakin rendah frekuensi kerja antena, maka semakin tinggi nilai keluaran sistem rectenna.
9. Semakin dekat jarak sumber pemancar, maka semakin tinggi nilai keluaran sistem rectenna.
10. 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] N. Tesla, "The transmission of electric energy without wires," in 13th Anniversary Number of the Electrical World and Engineer, 1904.
- [2] R. M. Dickinson, "Evaluation of a microwave high-power reception-conversion array for wireless power transmission," Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, CA, Tech. Memo 33-741, Sept. 1975.
- [3] Brown, W. Mims, J. Heenan, N. "An experimental microwave-powered helicopter" Raytheon Company, Burlington, MA, USA; 1965 IEEE International Record, vol. 13, part 5, pp. 225-235.
- [4] Hitoshi Hayami, Masao Nakamura, and Kanji Yoshioka "The Life Cycle CO2 Emission Performance of the DOE/NASA Solar Power Satellite System: A Comparison of Alternative Power Generation Systems in Japan" IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS PART C: APPLICATIONS AND REVIEWS, VOL. 35, NO. 3, AUGUST 2005.
- [5] East, T.W.R.; "Self-steering, self-focussing phased array for SHARP" Antennas and Propagation Society International Symposium, 1991. AP-S. Digest 24-28 June 1991 Page(s):1732 - 1735 vol.3.
- [6] J. Curty, M. Declercq, C. Dehollain, and N. Joehl, Design and Optimization of Passive UHF RFID Systems. New York: Springer, 2007.
- [7] Oka, Azlul Fadhy. Poespawati, Nji Raden. 2011. Rancang Bangun Prototipe Sistem Daya Selular Berbasis RF Energy Harvesting dan Sel Surya. Depok: Universitas Indonesia.
- [8] F. Y. Zulkifli, Y. M. Leza, Basari, E. T. Rahardjo "Design of Rectifier for Rectenna Application.". Proceeding of Asia Pacific Microwave Conference, Dec. 6-9. Nanjing, China. 2015.
- [9] Herdiana, Budi. Wijanto, Heroe. Hidayat, Iswahyudi. 2014. "Rangkaian Penyearah RF ke DC Bertingkat untuk Multi Frekuensi Kerja pada Sistem Pengisian Listrik Secara Nirkabel". Bandung: Universitas Telkom.
- [10] Qadri, Muh. Qautsar. Prasetya, Budi. Wahyu, Yuyu. 2013. Perancangan Dan Realisasi Rectenna Untuk Frekuensi 900 MHz Dengan Output Mencapai 1.2 Volt Sebagai Pencatu Daya Alternatif Untuk Jam Analog. Bandung: Institut Teknologi Telkom.
- [11] Nugraha, Rawan. Sunarya, Unang. Wahyu, Yuyu. 2014. "Perancangan dan Realisasi Rectenna (Rectifier Antenna) untuk Frekuensi 900 MHz - 5GHz Sebagai Sumber Daya Alternatif Untuk Mengisi Baterai Handphone". Bandung: Universitas Telkom.
- [12] Hamid Jabbar, Young. S. Song, Taikyeong Ted. Jeong, "RF Energy Harvesting System and Circuits for Charging of Mobile Device", IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol. 56, No. 1, February 2010, pp. 247-252.
- [13] D. Bouchouicha, F. Dupont, M. Latrach, and L. Ventura, "Ambient RF Energy Harvesting", International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'10), Granada (Spain), March, 2010.
- [14] PS, Taylor. JC, Batchelor. "Radio Frequency Energy Harvesting Project".
- [15] Adamu Murtala Zungeru, Li-Minn Ang, SRS. Prabakaran, Kah Phooi Seng "Radio Frequency Energy Harvesting and Management for Wireless Sensor Networks", Department of Electrical and Electronics Engineering, The University of Nottingham.
- [16] Hiroshi Nishimoto, Yoshihiro Kawahara, Tohru Asami, "Prototype Implementation of Ambient RF Energy Harvesting Wireless Sensor Networks", Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo, Japan 113-8656.
- [17] Mubarak, Amirsyah Rayhan. Zulkifli, Fitri Yuli. 2016. Rangkaian Penyearah Dengan Metode Differentially-Driven Sebagai Pengkonversi Energi Rf Ke Energi Listrik DC. Depok: Universitas Indonesia.
- [18] H. T. Chatta, Yi Huang dan Xu Zhu, "An Empirical Equation for Predicting The Resonant Frequency of Planar Inverted-F Antennas", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 8, pp. 856 - 860, 2009.
- [19] Ankit P Dabhi, Shobhit K Patel, "Response Of Planar Inverted F Antenna Over Difference Dielectric Substrate", International Journal of Scientific & Technology Research V, vol. 4, no. 5, 2014.
- [20] Elektronika dasar. 2012. Konsep dasar penyearah gelombang. Diakses Januari 2015 elektronika-dasar.web.id/