

PEMANENAN ENERGI FREKUENSI RADIO 1.800 MHz MENGUNAKAN RECTIFIER ANTENA UNTUK PERANGKAT PORTABLE

Ipan Suandi¹, Hanafi², Rachmawati³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe
Email: ipan@pnl.ac.id¹, hanafi_hf@pnl.ac.id², rachma@pnl.ac.id³

Abstrak – Penggunaan energi alternatif untuk saat ini merupakan hal yang sangat penting, dikarenakan makin menipisnya ketersediaan energi di alam. Salah satu contoh potensi energi yang tidak kita sadari kehadirannya disekitar kita adalah gelombang frekuensi radio atau yang biasa dikenal dengan gelombang RF, yang dapat digunakan sebagai energi alternatif dari sumber daya yang belum dimanfaatkan. Gelombang RF ini dapat dipanen untuk dapat dimanfaatkan sebagai sumber daya pada perangkat bergerak yang berdaya rendah. Oleh karena itu, dirancang dan dibuatlah rectifier antena (rectena) untuk dapat melakukan pemanenan energi gelombang RF. Rectifier antena dibuat dengan menggunakan antena mikrostrip patch lingkaran yang dapat digunakan untuk memanen energi RF dengan frekuensi 1.800 MHz dan mengkonversikannya menjadi tegangan DC menggunakan rangkaian rectifier. Hasil pabrikan antena mikrostrip patch circular ini dibuat dengan menggunakan bahan FR-4 epoxy dengan nilai konstanta dielektriknya = 4,4, dimensi patch = 21,7 mm, lebar substrat = 100 mm, dan panjang substrat = 100 mm. Hasil pengukuran antena mikrostrip patch circular yang dirancang dan direalisasikan ini memiliki VSWR sebesar 1,58 dengan return loss -13 dB dengan gain 11,94 dB. Pemanenan energi RF pada frekuensi radio dapat dilakukan dengan perangkat rectena. Tegangan yang dihasilkan masih sangat rendah yaitu sebesar 0,005 mV.

Kata-kata kunci: *frekuensi, rectena, antena mikrostrip, energy harvesting*

I. PENDAHULUAN

Teknologi dibidang pertelekomunikasian di Indonesia saat ini berkembang begitu pesat. Dengan banyaknya operator-operator telekomunikasi dan juga stasiun-stasiun TV yang bermunculan tentu saling bersaing memberikan kualitas yang terbaik untuk para user-nya. Salah satunya adalah kualitas sinyal (gelombang RF) dan juga luas jangkauan yang mampu dijangkau hingga hampir keseluruhan penjuru Indonesia. BTS telepon seluler dan juga alat pemancar gelombang RF lainnya, seperti Wi-Fi access point, stasiun pemancar TV terus memancarkan radiasi gelombang RF sehingga menimbulkan banyaknya gelombang RF disekitar kita.

Perangkat telekomunikasi, saat ini, cukup banyak bermunculan terutama dari perangkat *wireless* menggunakan teknik pencatutan dengan daya yang rendah. Sistem pencatutan yang digunakan perangkat-perangkat *wireless* telekomunikasi tersebut agar dapat tetap beroperasi umumnya menggunakan baterai, *kopling magnetic* atau *solar cell*. Dari teknik yang sudah ada tersebut masih memiliki beberapa keterbatasan. Contohnya saja menggunakan baterai, *life time*-nya yang sangat terbatas, termasuk untuk perangkat *low-power batteries* juga membutuhkan penggantian secara periodik.

Keterbatasan teknik catutan tersebut disusul dengan kebutuhan energi untuk berbagai macam jenis perangkat telekomunikasi yang baru. Maka lahirlah teknik *energy harvesting*. Konsep utama dari teknik *energy harvesting* adalah pendekatan dengan mengambil energi yang ada

dari berbagai sumber daya untuk meningkatkan fungsi baterai, atau dapat dikatakan melakukan fungsi operasi tanpa baterai. Teknologi ini menjelaskan tentang bagaimana mengirimkan catutan ke perangkat komunikasi mobile melewati media *wireless*. Akhirnya teknologi catutan *wireless* ini semakin berkembang hingga saat ini.

Penggunaan energi alternatif untuk saat ini merupakan hal yang sangat penting, dikarenakan semakin menipisnya persediaan energi di alam. Energi alternatif ini berasal dari potensi-potensi alam yang lain, yang dapat diperbaharui, dapat dihasilkan dalam waktu yang singkat, atau juga berasal dari akibat adanya penggunaan potensi alam yang lain, sehingga menimbulkan potensi energi sampingan yang dapat digunakan kembali. Salah satu contoh potensi energi yang tidak disadari kehadirannya di sekitar kita adalah gelombang frekuensi radio atau yang biasa dikenal dengan gelombang RF.

Penelitian tentang *energy harvesting* telah banyak dilakukan terbukti dengan banyaknya literatur yang mengangkat masalah tersebut. Diantaranya Jwo-Shiun Sun et. al menggunakan antena slot lebar dengan polarisasi sirkular dan rangkaian finite ground *coplanar waveguide* (CPW) untuk menangkap daya RF yang dirancang beroperasi pada 925 MHz. LPF yang digunakan pada rangkaian ini selain berfungsi untuk menekan interferensi dan harmonik orde yang lebih tinggi, tetapi juga berfungsi sebagai *impedance matching*. Untuk rangkaian penyearah digunakan dioda, kapasitor *bypass*, dan resistansi beban. Hal ini diberikan

agar daya yang diterima oleh antena tidak langsung jatuh ke ground. Efisiensi konversi maksimum RF (pada frekuensi 925 MHz) ke DC dari *rectena* mencapai 75% ketika daya RF yang diterima 15 dBm dan tegangan output DC yang diterima dengan resistansi beban 2 k Ω pada ruang bebas adalah 6,9 V[1].

Soudheh H. N et al. meneliti salah satu hal yang penting adalah bahwa ukuran perangkat harvester berpengaruh terhadap *range* frekuensi yang ditangkap. Antena yang digunakan adalah antena GSM embedded dengan ukuran 2x3,5 cm untuk menangkap frekuensi GSM sekitar 960 MHz. Pengali tegangan yang digunakan adalah pengali setengah gelombang yang disertai disebut Villiard *cascade*, dan *peak detector* menggunakan diode Schottky. Villiard *cascade* ini digunakan untuk meningkatkan sinyal yang diterima, sedangkan *peak detector* digunakan untuk merubah sinyal yang diterima menjadi DC. Efisiensi dari rangkaian ini kurang lebih 5% dan untuk *input threshold* -25 dBm daya output yang dapat dipanen adalah 158 nW[2].

Brown, W.C. melakukan pengukuran frekuensi tunggal pada *range* 935-960 MHz di Austria, Jerman, dan Hungaria, pada dua atau tiga arah *orthogonal* dengan menggunakan antena penerima *log-periodic* atau antena *bicone*. Dari hasil pengukuran didapatkan bahwa untuk jarak dari *base station* GSM sebesar 25 m sampai dengan 100 m, level kerapatan daya berkisar antara 0,1 mW/m² sampai dengan 1 mW/m².

Penelitian yang dilakukan O. Ceylan mendesain sistem pemanen daya untuk aplikasi UHF RFID. Sistemnya menggunakan antena planar *compact*, digandeng dengan rangkaian *resonator* impedance matching dan MOS rectifier yang diproduksi dengan standart proses CMOS 0,5 dan 0,18 mm. Sistem tersebut mendapatkan power-up threshold 6 mW (pada beban 1 mW) dan 8,5 mW (pada beban 2 W) saat beroperasi pada 950 MHz. Ini adalah performance terbaik dari sistem ekstrasi daya standart CMOS pada saat itu[3].

Pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, dinyatakan bahwa frekuensi dapat diubah menjadi sumber daya yang berupa tegangan. Untuk mengubah frekuensi ke sumber daya lain, diperlukan antena sebagai penerima frekuensi dan *rectifier* sebagai penyearah gelombang. Kombinasi dua perangkat ini disebut *Rectena* (*Rectifier Antena*) yang berfungsi untuk mengkonversi gelombang elektromagnetik menjadi sumber arus DC. Radiasi gelombang elektromagnetik yang berasal dari *Base Transceiver Station* (BTS) dapat dimanfaatkan untuk menjadi sumber daya baru berupa tegangan dengan menggunakan *Rectena*.

Pada paper ini akan dibahas tentang karakteristik *Rectena* yang dapat dimanfaatkan sebagai pencatu daya. Antena didesain pada frekuensi 1.800 MHz, untuk memanen energi yang berasal dari gelombang RF.

II. DESAIN DAN PEMBUATAN RECTENA

A. Energi 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. Sumber energi tersebut berasal dari sumber eksternal seperti gelombang radio (*RF energy*), energi panas, energi alam, energi matahari, dan lain-lain[1].

RF energy saat ini dipancarkan oleh *radio transmitters*, termasuk telepon genggam, BTS, televisi/*radio broadcast stations*. Kemampuan untuk memanen energi dari energi yang disekitar atau suatu sumber memungkinkan pengisian energi nirkabel dari perangkat dengan daya rendah. Seiring berkembangnya teknologi, frekuensi dapat ditangkap dan diubah menjadi energi baru berupa listrik/tegangan DC (*Direct Current*).

Rectena merupakan antena yang dintegrasikan dengan *rectifier*, secara sedeharna *rectena* bisa dikatakan adalah perangkat yang memiliki kemampuan untuk mengkonversi gelombang RF menjadi tegangan DC. Antena berfungsi menangkap gelombang elektromagnetik dari ruang bebas yang banyak dipancarkan perangkat-perangkat telekomunikasi yang berada disekitar kita seperti yang dipancarkan oleh BTS, Access Point, dan lain-lain, sedangkan *rectifier* digunakan untuk mengkonversi gelombang elektromagnetik tersebut menjadi tegangan DC

B. Antena Mikrostrip Patch Lingkaran

Untuk menentukan dimensi elemen radiasi, maka terlebih dahulu harus ditentukan besarnya panjang gelombang di ruang bebas (λ_0) berdasarkan frekuensi acuan yang akan diradiasikan (f_r) dan kecepatan cahaya di ruang bebas (c), dengan persamaan (1)[2][4]:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

Bentuk patch antena mikrostrip yang akan dibangun adalah lingkaran, yang mana radius ditentukan oleh Persamaan (2).

$$\alpha = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r f} \left[\ln \left(\frac{\pi f}{2h} \right) + 1.77726 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (2)$$

dengan α menyatakan dimensi radius *circular* (cm), h menyatakan ketebalan substrat (mm), f menyatakan fungsi logaritmik elemen peradiasi, dan ϵ_r merupakan konstanta dielektrik substrat (F/m).

Sedangkan fungsi logaritmik dari elemen peradiasi di tentukan dengan Persamaan (3).

$$f = \frac{8,791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (3)$$

dengan f_r menyatakan frekuensi resonansi (MHz) dan ϵ_r menyatakan konstanta dielektrik substrat (F/m).

C. Karakteristik Impedansi

Pada prinsipnya antena mikrostrip mempunyai kesamaan dengan saluran mikrostrip. Dengan memperhatikan adanya kesamaan sifat yang dimiliki sebagai komponen pasif, maka dalam menentukan impedansi karakteristik antena dapat dilakukan dengan menggunakan analisis saluran transmisi dalam bentuk mikrostrip. Tujuan penentuan impedansi karakteristik antena adalah untuk menentukan lebar saluran atau elemen radiasinya [5].

Secara matematik besarnya nilai impedansi karakteristik untuk saluran atau antena mikrostrip dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (4)[5]:

$$Z_o = \frac{377h}{\sqrt{\epsilon_r}W} \quad (\Omega) \quad (4)$$

dengan Z_o menyatakan impedansi karakteristik (Ω), ϵ_r menyatakan permitivitas dielektrik relatif *substrat* (F/m), W menyatakan lebar elemen radiasi (mm) dan h tinggi bahan *substrat* (mm).

Impedansi karakteristik merupakan salah satu parameter yang penting dalam merancang antena mikrostrip, karena apabila impedansi saluran yang tidak *matching* dengan impedansi masukan antena akan menyebabkan beberapa masalah, antara lain timbulnya sinyal pantul, distorsi dan *interferensi* antar alur rangkaian[5].

D. Permitivitas Dielektrik Relatif Efektif

Saluran mikrostrip mempunyai dua bahan dielektrik. Oleh karena itu diperlukan satu parameter baru yang berguna untuk melihat pengaruh kedua bahan dielektrik tersebut secara serentak. Parameter ini disebut sebagai konstanta permitivitas dielektrik relatif efektif. Besarnya permitivitas dielektrik relatif efektif dinyatakan dengan Persamaan (5)[2] :

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (5)$$

dengan ϵ_{reff} menyatakan konstanta dielektrik efektif (F/m), ϵ_r menyatakan konstanta dielektrik bahan (F/m), h menyatakan tinggi bahan *substrat* (mm), W menyatakan lebar *patch* (mm), dan $W/h \geq 1$.

E. Impedansi Masukan

Pada frekuensi resonansi nilai besarnya impedansi masukan elemen peradiasi dinyatakan dengan Persamaan (6)[5]:

$$Z_A = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left(\frac{L}{W} \right)^2 \Omega \quad (6)$$

dengan Z_A menyatakan impedansi masukan elemen radiasi (Ω), L menyatakan panjang elemen radiasi (mm), dan W menyatakan lebar elemen radiasi (mm).

F. Matching Impedance

Impedansi masukan elemen radiasi harus ada kesesuaian impedansi antara impedansi karakteristik saluran transmisi, elemen radiasi dan impedansi di ruang bebas. Hal ini dimaksudkan agar sinyal yang diterima antena akan maksimum. Selanjutnya impedansi *matching* didapat dengan menggunakan Persamaan (7)[5] :

$$Z_T = \sqrt{Z_o \cdot Z_L} \quad (7)$$

dengan Z_T menyatakan impedansi transformer (Ω), Z_o menyatakan impedansi karakteristik saluran transmisi (Ω), dan Z_L menyatakan impedansi beban (Ω).

G. Perangkat Rectena

Objek yang diteliti adalah antena mikrostrip patch lingkaran yang diintegrasikan dengan perangkat rectifier, sehingga dapat menjadi sebuah perangkat Rectena yang digunakan untuk melakukan *elektromagnetic energy harvesting* atau pemanenan energi elektromagnetik di alam sekitar kita. Parameter karakteristik antena yang diamati adalah *return loss*, VSWR, *gain*, pola radiasi, *bandwidth*, dan impedansi. Sedangkan parameter output *Rectena* yang diamati adalah tegangan DC.

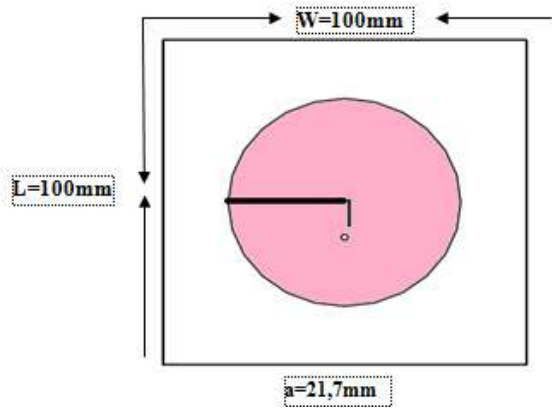
Bahan-bahan yang diperlukan untuk membuat antena tersebut seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel I
Alat dan Bahan untuk Pembuatan Rectena

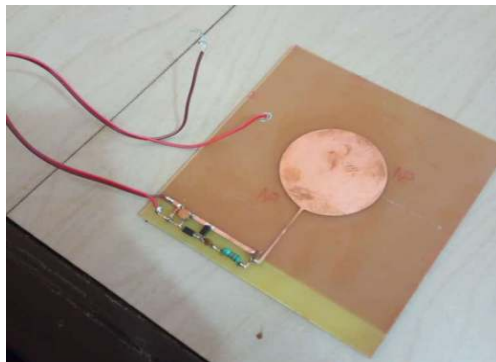
No.	Komponen	Jumlah
1	Personal Computer	1 unit
2	Multimeter Digital	1 unit
3	Solder	1 unit
4	PCB FR4-Epoxy untuk antena mikrostrip	1 unit
5	Capasitor 2A474J (0,47 μ F - 100V)	2 unit
6	Capasitor electrolytic (100 μ F - 16V)	2 unit
7	Kabel	1 unit
8	DiodaSchottky	2 unit
9	Induktansi	2 unit
10	Timah solder	-

Langkah-langkah yang dilakukan dalam menyelesaikan penelitian ini adalah:

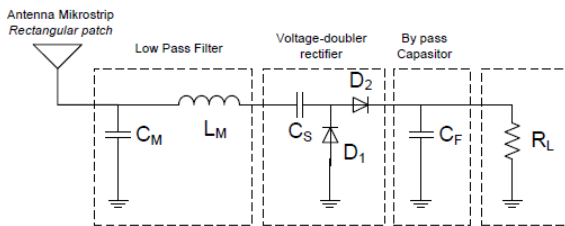
1. Mendesain antena mikrostrip dengan menggunakan simulasi software HFSS sehingga diperoleh pola desain antena seperti diperlihatkan pada Gambar 1.
2. Pola pada gambar di atas, dipabrikasi dengan menggunakan bahan substrat FR4-Epoxy sehingga diperoleh rectifier antena seperti diperlihatkan pada Gambar 2.
3. Selanjutnya antena tersebut diukur, agar parameternya sesuai dengan terget syarat agar dapat diintegrasikan dengan rangkaian rectifier, sehingga menjadi sebuah rectena.
4. Membuat rangkaian *energy harvesting* dengan rangkaian seperti diperlihatkan pada Gambar 3.
5. Terakhir melakukan pengukuran rangkaian seperti diperlihatkan pada Gambar 4.



Gbr. 1 Dimensi Fisik Antena Mikrostrip Patch Circular



Gbr. 2 Hasil Pabrikasi Rectifier Antena



Gbr. 3 Rangkaian Rectifier Energy Harvesting



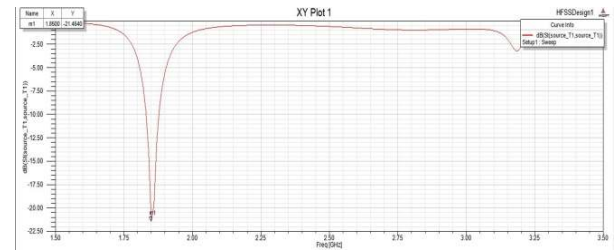
Gbr. 4 Pemanenan Energi Elektromagnetik

Desain *Rectena*, pabrikasi *Rectena*, pengukuran karakteristik antena dilakukan di Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri, sedangkan pengukuran *rectena* dilakukan di Lapangan Hiraq Lhokseumawe, untuk mendapatkan daya pacar dari BTS operator selular.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Simulasi Return Loss

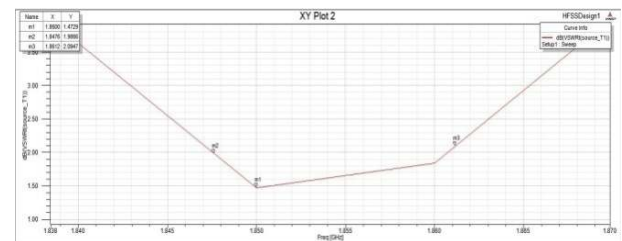
Grafik *return loss* dan frekuensi resonansi antena mikrostrip *patch circular* diperlihatkan pada Gambar 5.



Gbr. 5 Grafik *Return Loss* pada antena Mikrostrip *Patch Circular* pada HFSS

B. Hasil Simulasi Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

Dimensi *patch* antena dan saluran pencatu dapat dikatakan *matching* ketika *report* yang dihasilkan pada VSWR adalah kurang dari atau sama dengan 2, dan lebih besar dari atau sama dengan 1. Plot VSWR antena mikrostrip *patch circular* seperti diperlihatkan pada Gambar 6.



Gbr. 6 Grafik VSWR pada Antena Mikrostrip *Patch Circular* pada HFSS

Bandwidth untuk antena Mikrostrip *Patch Circular* yang diperoleh pada simulasi adalah :

$$B = f_2 - f_1$$

$$B = (1.861 - 1.847) \text{ MHz}$$

$$B = 14 \text{ MHz}$$

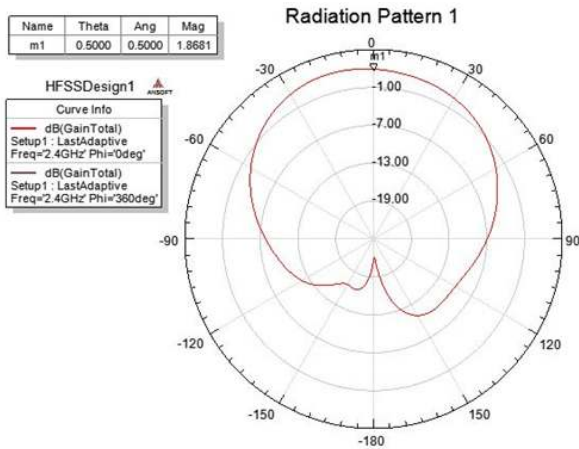
C. Hasil Simulasi Gain dan Pola Radiasi

Nilai *gain* yang dihasilkan pada sudut 0^0 adalah 1,86 dB, dan pada sudut 90^0 adalah -6,77 dB. Bentuk pola radiasi yang dihasilkan mendekati bentuk antena *directional*. Bentuk pola radiasi seperti diperlihatkan pada Gambar 7 dan 8.

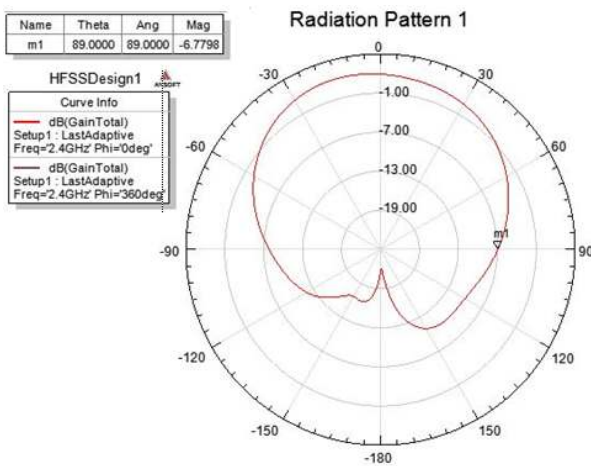
D. Hasil Pengukuran VSWR dan Return Loss

Setelah melakukan pengukuran pada antena Mikrostrip *Patch Circular*, maka diperoleh hasil pengukuran berupa VSWR, *return loss*, pola radiasi, dan *gain*. Nilai impedansi antena, koefisien pantul dan *bandwidth* diperoleh dengan menggunakan perhitungan.

Tabel 2 adalah hasil pengukuran VSWR antenna pada frekuensi 1.800 MHz. Nilai VSWR yang diperoleh adalah 1,58.



Gbr. 7 Gain dan Pola radiasi (pada sudut 0°)



Gbr. 8 Gain dan Pola radiasi (pada sudut 90°)

Tabel II
Hasil Pengukuran VSWR

FREKUENSI (MHz)	VSWR	RL(dB)
1.750	3.98	-4.5
1.760	3.73	-4.8
1.770	3.46	-5.2
1.780	3.01	-6.0
1.790	2.53	-7.3
1.800	1.58	-13.0
1.810	1.57	-13.2
1.820	1.50	-14.1
1.830	1.80	-10.8
1.840	2.33	-7.9
1.850	2.77	-6.5

Data pada Tabel 2 diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan *Base Station Test*, seperti diperlihatkan pada Gambar 9.

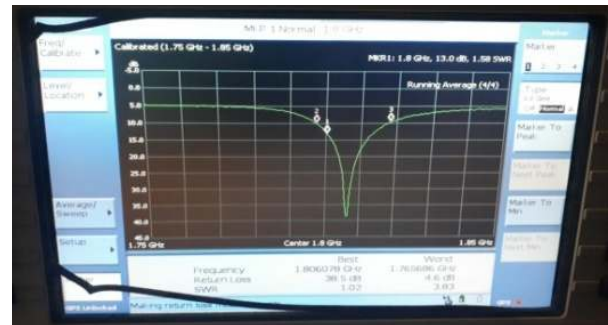
Sedangkan *bandwidth* antenna Mikrostrip Patch

Circular yang diperoleh adalah :

$$B = f_2 - f_1$$

$$B = (1,84 - 1,8)$$

$$B = 0,04 \text{ GHz} = 40 \text{ MHz}$$



Gbr. 9 Grafik VSWR dan Return loss pada BTS

Untuk impedansi antenna Mikrostrip Patch *Circular* pada frekuensi 1.800 MHz dapat dihitung dari data pengukuran *return loss*, sehingga didapatkan terlebih dahulu nilai koefisien pantulnya, seperti dibawah ini :

$$RL = -20 \log [\Gamma]$$

$$[\Gamma] = \log^{-1} RL/20$$

$$[\Gamma] = \log^{-1} -13,0/20 = 0,223$$

Maka impedansi antenanya adalah :

$$[\Gamma] = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

$$0,223 = \frac{Z_L - 50}{Z_L + 50}$$

$$0,223Z_L + 11,5 = Z_L - 50$$

$$Z_L - 0,223Z_L = 11,5 + 50$$

$$0,777Z_L = 61,5$$

$$Z_L = 78,70 \Omega$$

Nilai impedansi antenna pada frekuensi 1.750–1.850 MHz dapat dicari nilainya dengan menggunakan cara yang sama seperti diatas. Hasil impedansi antenna Mikrostrip Patch *Circular* di beberapa frekuensi tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel III
Impedansi Antena Mikrostrip Patch *Circular*

Frekuensi (MHz)	VSWR	Koefisien Pantul [Γ]	Impedansi (Ω)
1.750	3.98	0,595	196,91
1.760	3.73	0,575	185,29
1.770	3.46	0,549	171,73
1.780	3.01	0,3	71,86
1.790	2.53	0,431	125,75
1.800	1.58	0,223	78,70
1.810	1.57	0,065	42,94
1.820	1.50	0,070	50
1.830	1.80	0,054	50
1.840	2.33	0,0395	54,11
1.850	2.77	0,0325	50

E. Hasil Pengukuran Gain

Pengukuran gain dilakukan dengan menggunakan 3 buah antenna yang bekerja pada frekuensi yang sama. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel IV
Hasil Pengukuran Gain

Frekuensi (MHz)	G1 + G2 (dB)	G1 + G3 (dB)	G2 + G3 (dB)
1.750	-16,5	-24,9	-22,1
1.760	-18,6	-28,5	-22,9
1.770	-19,3	-29,3	-23,8
1.780	-19,1	-30,2	-24,6
1.790	-19,2	-28,3	-25,1
1.800	-17,2	-28,8	-25,3
1.810	-16,8	-27,1	-25,9
1.820	-14,1	-25,9	-25,8
1.830	-13,8	-20,2	-25,2
1.840	-14,7	-18,2	-20,6
1.850	-14,1	-17,6	-21,1

Setelah dilakukan pengukuran, maka kita bisa menghitung gain ketiga antenna masing-masing frekuensi tersebut. Perhitungan gain seperti pada Tabel 5.

Tabel V
Perhitungan Gain Antena

Frek. (MHz)	Perhitungan Gain			Gain 1 (dB)	Gain 2 (dB)	Gain 3 (dB)
	G ₁ +G ₂ (dB)	G ₁ +G ₃ (dB)	G ₂ +G ₃ (dB)			
1.750	20,819	12,419	15,219	9,009	11,809	3,409
1.760	18,77	8,87	14,47	6,585	12,185	2,285
1.770	18,121	8,121	13,621	6,310	11,810	1,80
1.780	18,873	7,273	12,873	6,636	12,236	0,708
1.790	18,325	9,225	12,425	7,562	10,762	1,662
1.800	20,38	8,778	12,278	11,94	23,88	0,338
1.810	20,83	10,53	11,73	10,297	10,535	0,232
1.820	23,528	11,278	12,128	12,339	12,189	0,230
1.830	24,356	17,536	12,536	14,678	9,678	2,858
1.840	23,089	19,589	17,189	12,744	10,344	6,844
1.850	23,743	20,243	16,743	14,678	9,678	6,621

F. Hasil Pengukuran Pola Radiasi Bidang E dan Bidang H

Hasil perhitungan Pola Radiasi Bidang E dan H seperti diperlihatkan pada Tabel 6

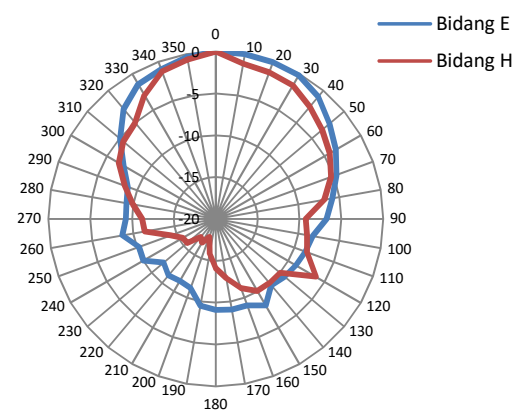
Tabel VI
Perhitungan Pola Radiasi Bidang E dan Bidang H

Φ	Perhitungan Rata-Rata		Normalisasi	
	Bidang E (dB)	Bidang H (dB)	Bidang E (dB)	Bidang H (dB)
0	-19,58	-19,58	-0,10	-4,42
10	-19,48	-19,48	0	-5,60
20	-19,52	-19,52	-0,04	-5,36
30	-19,66	-19,66	-0,18	-5,58

Φ	Perhitungan Rata-Rata		Normalisasi	
	Bidang E (dB)	Bidang H (dB)	Bidang E (dB)	Bidang H (dB)
40	-20,42	-20,42	-0,94	-6,54
50	-21,74	-21,74	-2,26	-7,42
60	-22,92	-22,92	-3,44	-8,28
70	-24,14	-24,14	-4,66	-9,36
80	-25,34	-25,34	-5,86	-6,84
90	-26,24	-26,24	-6,76	-9,26
100	-27,72	-27,72	-8,24	-8,96
110	-28,08	-28,08	-8,6	-8,4
120	-28,42	-28,42	-8,94	-6,2
130	-28,76	-28,76	-9,28	-10
140	-29,16	-29,16	-9,68	-10,02
150	-27,56	-27,56	-8,08	-10,06
160	-28,48	-28,48	-9	-11,2
170	-28,5	-28,5	-9,02	-12,82
180	-28,62	-28,62	-9,14	-14,12
190	-28,94	-28,94	-9,46	-15,82
200	-30,7	-30,7	-11,22	-17,72
210	-30,92	-30,92	-11,44	-16,74
220	-30,68	-30,68	-11,2	-17,22
230	-31,38	-31,38	-11,9	-15,54
240	-29,52	-29,52	-10,04	-15,46
250	-29,72	-29,72	-10,24	-14,26
260	-28,18	-28,18	-8,7	-11,38
270	-28,74	-28,74	-9,26	-11,2
280	-28,68	-28,68	-9,2	-9,94
290	-28,3	-28,3	-8,82	-8,46
300	-26,8	-26,8	-7,32	-6,62
310	-24,58	-24,58	-5,1	-5,58
320	-22,36	-22,36	-2,88	-5,02
330	-20,92	-20,92	-1,44	-2,96
340	-20,46	-20,46	-0,98	-1,24
350	-19,84	-19,84	-0,36	-0,68

Berdasarkan data dari Tabel 6 dapat diperoleh bentuk grafik seperti diperlihatkan pada Gambar 10.

Polaradiasi Bidang E dan Bidang H



Gbr. 10 Pola radiasi Bidang E dan Bidang H

G. Hasil Pengukuran Rectena

Pengukuran pada rectena untuk mengetahui adanya *energy harvesting* dilakukan sebanyak tiga (3) kali dalam selang waktu yang berbeda-beda. Data hasil pengukuran tersebut ditunjukkan pada Gambar 11 – 13.

H. Pembahasan Hasil Desain dan Pengukuran Antena

Dalam rancang bangun antena mikrostrip *patch circular* ini dilakukan simulasi terlebih dahulu agar mendapatkan parameter ideal sesuai dengan apa yang diinginkan, kemudian difabrikasi dan dilakukan pengukuran. Pengukuran antena menggunakan alat ukur antena yaitu *Base Station Test*. Pengukuran yang dilakukan meliputi *VSWR*, *return loss*, *gain* dan pola radiasi. Sedangkan untuk *bandwidth*, koefisien pantul dan impedansi antena dilakukan berdasarkan perhitungan menggunakan rumus. Implementasi yang dilakukan adalah dengan cara membandingkan hasil dari simulasi menggunakan HFSS dengan hasil pengukuran.

Berdasarkan hasil simulasi, antena mikrostrip ini memiliki nilai *VSWR* yang paling baik pada frekuensi 1.820 MHz sebesar 1.4, sedangkan hasil pengukuran pada frekuensi 1.800 MHz didapat *VSWR* sebesar 1.5. Hasil yang didapat sudah mendekati nilai optimum sehingga sudah memenuhi syarat awal *VSWR*, yaitu lebih kecil dari 2, dan lebih besar dari 1.

Bandwidth antena mikrostrip diperoleh berdasarkan hasil simulasi pada frekuensi 1.800 MHz adalah sebesar 19,8 MHz. Sedangkan berdasarkan hasil pengukuran, *bandwidth* yang dihasilkan sebesar 40 MHz. Ini menunjukkan fabrikasi menghasilkan *bandwidth* yang lebih luas. Untuk memaksimalkan perpindahan daya dari antena ke penerima, maka impedansi antena harus *conjugate match*. Jika tidak maka akan terjadi pemantulan energi yang dipancarkan atau diterima yang besar. Pada pengukuran *VSWR* antena mikrostrip *Patch Circular* pada frekuensi 1.800 MHz sebesar -13,0 dB dan untuk *return loss* pada frekuensi lain dapat dilihat pada Tabel 3.1. Impedansi antena mikrostrip *Patch Circular* pada frekuensi 1.800 MHz diperoleh sebesar 78,70 Ω. Nilai koefisien pantul yang diperoleh pada frekuensi 1.800 MHz adalah sebesar 0,223. Pada kondisi ini, nilai koefisien pantul sudah dikatakan *match* karena memiliki nilai 0 dan tidak ada lagi gelombang yang dipantulkan dari beban ke saluran transmisi.

Pada pengukuran *gain* antena dilakukan dengan cara membandingkan daya maksimum yang diterima oleh antena yang sedang diuji dengan daya maksimum yang diterima oleh suatu antena referensi yang sudah diketahui *gain* yang diterima oleh suatu antena referensi yang sudah diketahui yang dimilikinya. Berdasarkan hasil pengukuran, *gain* antena mikrostrip *patch circular* pada frekuensi 1.800 MHz diperoleh sebesar 11,94 dB.

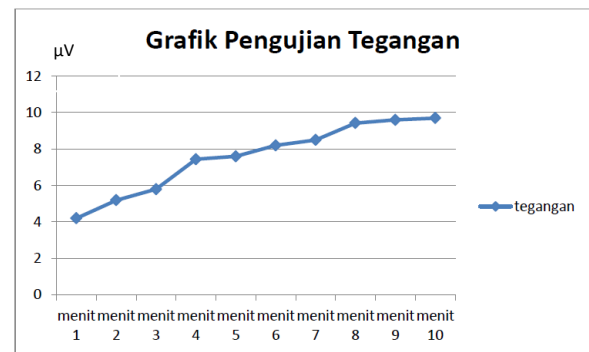
Pengukuran pola radiasi bertujuan untuk mengetahui bentuk polarisasi dari antena yang telah dirancang agar dapat meradiasikan sinyal. Pada pengukuran ini, susunan antena mikrostrip berfungsi sebagai antena penerima, sedangkan untuk antena pemancar menggunakan simpel dipole $\frac{1}{4} \lambda$. Pada pola radiasi dilakukan pemutaran pada antena dari posisi 0° sampai 350°. Baik pada bidang E maupun pada bidang H.

Untuk perhitungan dan normalisasi bidang E dan bidang H yang terdapat pada Tabel 3.5, dimana untuk level sinyal bidang E yang paling besar terletak pada

sudut 0° dan pada bidang H yang paling besar terletak pada sudut 350°. Berdasarkan data pengukuran diatas maka pola radiasi yang dihasilkan mendekati antena *directional*, yaitu hanya ke satu arah saja atau pada arah tertentu.

I. Pembahasan Hasil Pengukuran Rectena

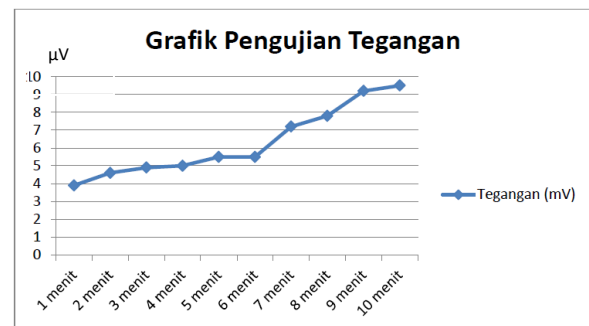
Hasil pengukuran rectena pertama seperti diperlihatkan pada Gambar 11.



Gbr. 11 Hasil tegangan pada Pengujian I

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada gambar 11, tegangan tertinggi terjadi pada menit ke-10 dengan nilai 9,70 µV dan tegangan terendah terjadi pada menit ke-1 dengan nilai 4,20 µV.

Hasil pengukuran rectena kedua seperti diperlihatkan pada Gambar 12.



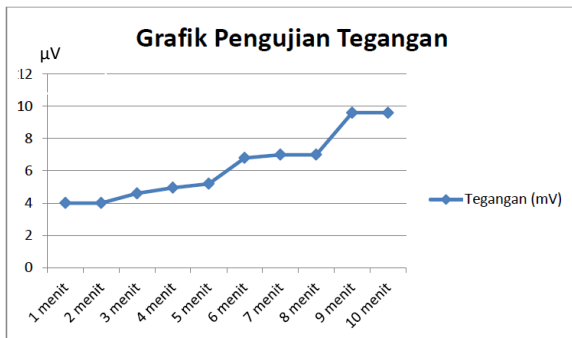
Gbr. 12 Hasil tegangan pada Pengujian II

Berdasarkan grafik dari gambar di atas, hasil tegangan tertinggi terjadi pada menit ke-10 dengan nilai tegangan 9,5 µV, dan tegangan terendah terjadi pada menit ke-1 dengan nilai 4 µV.

Hasil pengukuran rectena ketiga seperti diperlihatkan pada Gambar 13. Berdasarkan grafik pada gambar di atas, hasil tegangan tertinggi diperoleh pada menit ke-10, yaitu 9,60 µV dan tegangan terendah terjadi juga pada menit-1 dengan nilai 4,00 µV.

Jeda waktu yang di gunakan mempengaruhi dalam menghasilkan gelombang elektromagnetik yang dialirkan oleh antena. Gelombang elektromagnetik yang tersebar bebas di udara merupakan sinyal AC (bolak-balik). Sehingga untuk memanfaatkannya maka gelombang elektromagnetik tersebut perlu disearahkan menjadi sinyal DC yang nilainya relatif stabil dan

mempengaruhi nilai tegangan untuk memanen daya. Dimana semakin lama waktu pengujian semakin tinggi tegangan yang dihasilkan.



Gbr. 13 Hasil tegangan pada Pengujian III

Saat pemindahan energi gelombang elektromagnetik dari media transmisi *guide* (kabel) ke media transmisi *unguided* (ruang hampa atau udara) atau sebaliknya dari udara ke kabel. Output dari sistem ini dapat dimanfaatkan untuk mencatu perangkat berdaya rendah. Dalam pengujian ini, rentang frekuensi atau gelombang elektromagnetik yang akan diukur tidak ditentukan secara spesifik. Maksudnya adalah hanya gelombang elektromagnetik yang sering tertangkap pada antenna microstrip 1.800 MHz yang dimanfaatkan.

IV. KESIMPULAN

Desain antenna mikrostrip yang paling optimal digunakan untuk diintegrasikan dengan perangkat rectifier sehingga menjadi sebuah perangkat rectena, dan dapat melakukan pemanenan energi elektromagnetik. Berdasarkan pembahasan di atas, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Antena mikrostrip *patch circular* ini dibuat dengan menggunakan bahan FR-4 *epoxy* dengan nilai konstanta dielektriknya (ϵ_r) = 4,4 dengan dimensi *patch* (a) = 21,7 mm, lebar substrat (W) = 100 mm, panjang substrat (L) = 100 mm.
2. Antena mikrostrip *patch circular* yang dirancang dan direalisasikan ini memiliki VSWR sebesar 1,58 dengan *return loss* -13.0 dB pada frekuensi 1.800 MHz.
3. Pada frekuensi 1.800 MHz, antena mikrostrip *patch circular* yang dirancang dan direalisasikan ini memiliki gain sebesar 11,94 dB.
4. Perangkat rectena dapat melakukan pemanenan energi RF walaupun tegangan yang dihasilkan masih sangat rendah yaitu sebesar 0,009 mV.

REFERENSI

- [1] Amal, Hamka, Ikhlasul. Perancangan dan Realisasi Sistem RF Energy Harvesting pada Frekuensi UHF. Universitas Telkom. 2015.
- [2] C. A, Balanis. Antenna Theory Analysis and Design. Third Edition, John Wiley & Sons, New

York. 2005.

- [3] O. Ceylan, at all. Low Cost S Band Communication System Design for Nano Satellites. Recent Advances in Space Technologies (RAST), 2011 5th International Conference . Juni 2011.
- [4] P.S. Nakar. Design of a Compact Microstrip Patch Antenna for use in Wireless/Cellular Devices. The Florida State University. Thesis, 2004.
- [5] R. Garg, dkk. Microstrip Antenna Design Handbook. Artech House: Boston, London, 2000.