

**RANCANG BANGUN ANTENA PENYEARAH (*RECTIFIER ANTENNA*)
UNTUK PEMANEN ENERGI ELEKTROMAGNETIK
PADA FREKUENSI GSM 1800 MHz**

**PUBLIKASI JURNAL SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

DIRTON PARUBAK

NIM. 125060309111012 - 63

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2014



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Jalan MT Haryono 167 Telp& Fax. 0341 554166 Malang 65145

**KODE
PJ-01**

**PENGESAHAN
PUBLIKASI HASIL PENELITIAN SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

NAMA : DIRTON PARUBAK
NIM : 125060309111012
PROGRAM STUDI : TEKNIK TELEKOMUNIKASI
**JUDUL SKRIPSI : RANCANG BANGUN ANTENA PENYEARAH (*RECTIFIER ANTENNA*)
UNTUK PEMANEN ENERGI ELEKTROMAGNETIK PADA
FREKUENSI GSM 1800 MHz**

TELAH DI-REVIEW DAN DISETUJUI ISINYA OLEH:

Pembimbing I

Pembimbing II

Rudy Yuwono, S.T., M.T

NIP. 19710615 199802 1 003

M. Fauzan Edy Purnomo, S.T., M.T

NIP. 19710609 200003 1 005

RANCANG BANGUN ANTENA PENYEARAH (*RECTIFIER ANTENNA*) UNTUK PEMANEN ENERGI ELEKTROMAGNETIK PADA FREKUENSI GSM 1800 MHz

Dirthon BG Parubak¹, Rudy Yuwono, S.T., M.Sc.², Fauzan Edy Pramono, S.T, M.T³
¹Mahasiswa Teknik Elektro Univ. Brawijaya, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro Univ. Brawijaya
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono No.167, Malang 65145, Indonesia
Email: dirthon@outlook.com

Abstrak – Antena Penyearah (*rectifier antenna*) adalah suatu antena yang diintegrasikan dengan sebuah rangkaian *rectifier* yang memiliki kemampuan untuk mengkonversi gelombang RF menjadi tegangan DC. Antena mikrostrip pada *rectenna* dapat berfungsi untuk menangkap gelombang elektromagnetik kemudian diubah menjadi gelombang AC yang nantinya oleh *rectifier* akan di daur ulang lagi menjadi gelombang DC. Konsep daur ulang gelombang elektromagnetik ini dapat diaplikasikan pada frekuensi GSM 1800 MHz yang kemudian frekuensi tersebut nantinya akan di *recycling* sehingga menghasilkan gelombang DC yang dapat diukur menjadi sebuah tegangan. Untuk membuat sebuah *rectenna* yang mampu bekerja pada frekuensi GSM 1800 MHz, maka perlu dirancang sebuah antena mikrostrip dan rangkaian *rectifier* yang mampu bekerja pada frekuensi tersebut. Perancangan dimensi antena mikrostrip diperoleh melalui perhitungan dan optimasi serta dilakukan simulasi, dan perancangan komponen rangkaian *rectifier* diperoleh melalui simulasi rangkaian. Fabrikasi antena mikrostrip ini menggunakan bahan Phenolic White Paper – FR4 dengan konstanta dielektrik (ϵ_r) = 4,5. Hasil pengukuran *rectenna* menunjukkan bahwa *rectenna* tersebut mampu bekerja pada frekuensi GSM 1800 MHz dengan bandwidth sebesar 50 MHz. Dan nilai tegangan output hasil konversi terbaik dari *rectenna* yaitu sebesar 0.4 mV, pada frekuensi GSM 1800 MHz.

Kata Kunci: *Rectenna*, Antena, *Rectifier*, GSM

I. PENDAHULUAN

Pada saat ini cukup banyak perangkat telekomunikasi yang bermunculan terutama dari perangkat *wireless* menggunakan teknik pencatutan dengan daya yang rendah^[1]. 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^[2]. Teknologi ini menjelaskan tentang bagaimana mengirimkan catutan melewati media tanpa kabel atau *wireless*. Dan akhirnya teknologi catutan *wireless* ini semakin berkembang hingga saat ini.

Teknik *energy harvesting* hadir sebagai teknik dengan sumber energi yang ramah lingkungan^[3], yang merupakan alternatif yang menjanjikan dengan memanfaatkan sumber energi yang ada dan dapat diintegrasikan pada sebuah *rectifier* dan sebuah antena. Ada pula energi yang termasuk didalam *energy harvesting* adalah pemanfaatan tenaga surya yang lebih dikenal sebagai panel surya.

Pada penelitian ini akan dirancang sebuah *rectenna* (*rectifier antenna*) sebagai pengubah gelombang elektromagnetik menjadi tegangan output DC yang memanfaatkan frekuensi GSM 1800 MHz. Dimana sebelumnya telah dilakukan beberapa penelitian mengenai aplikasi *rectenna* itu sendiri seperti pada UHF-RFID^[10], *biomedical devices*^[5], frekuensi Wi-Fi^[14] serta *Wireless Sensor Networks*^[12]. Tetapi belum meneliti lebih jauh pada frekuensi GSM 1800 MHz itu sendiri.

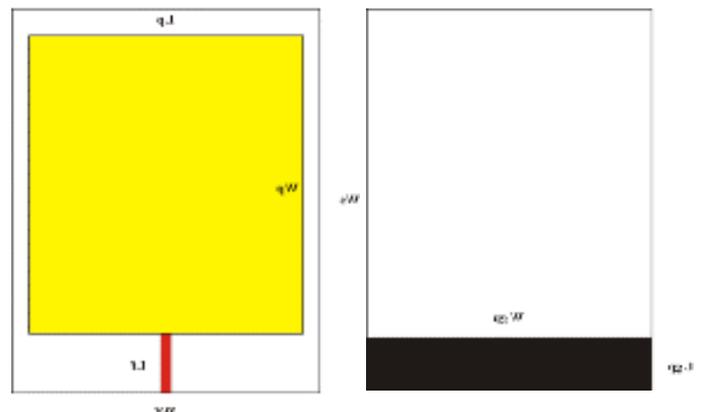
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian *Rectenna*

Rectenna merupakan antena yang diintegrasikan dengan sebuah rangkaian *rectifier*, atau juga dapat dikatakan sebagai perangkat yang memiliki kemampuan untuk mengkonversi gelombang RF menjadi tegangan DC^[4].

2.2. Perancangan Dimensi Antena

Antena yang akan digunakan pada penelitian ini adalah Antena Mikrostrip *Rectangular Patch*. Pemilihan bentuk geometri *rectangular patch* dikarenakan cukup mudah dalam proses fabrikasinya, dan juga mempunyai perhitungan dimensi yang lebih presisi dari bentuk geometri yang lainnya. Berikut merupakan gambar geometri antena mikrostrip *rectangular patch*.



Gambar 1. Geometri Antena Mikrostrip *Rectangular Patch*^[9]

Untuk menentukan dimensi elemen peradiasi, maka terlebih dahulu harus ditentukan frekuensi acuan (f_r) yang digunakan untuk mencari panjang gelombang diruang bebas (λ_0)^[1].

$$\lambda_0 = c/f_r \text{ (m)}$$

keterangan:

F_r = frekuensi acuan (MHz)

c = cepat rambat cahaya di udara (3×10^8 m/s)

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam menghitung dimensi antenna *rectangular patch* adalah sebagai berikut^[1].

$$W = \frac{2}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$$

$$\epsilon_{eff} = \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right) + \left(\frac{\epsilon_r - 1}{2} \right) \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}} \right)$$

$$L = c / ([2fr] \sqrt{\epsilon_{eff}})$$

Keterangan :

W = Panjang Patch (m)

L = Lebar Patch (m)

ϵ_r = *permitivitas dielektrik* relatif substrat (F/m)

ϵ_{eff} = *permitivitas dielektrik* efektif substrat (F/m)

c = cepat rambat cahaya di udara (3×10^8 m/s)

f_r = frekuensi acuan (Hz)

h = ketebalan substrat (mm)

Untuk lebar saluran transmisi mikrostrip dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini^[7]:

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B-1) + (\epsilon_r - 1)/(2\epsilon_r) \right. \\ \left. [\ln(B-1) + 0,390,61/\epsilon_r] \right\}$$

$$B = (60\pi^2)/(Z_0 \sqrt{\epsilon_r})$$

Keterangan :

W = lebar saluran transmisi mikrostrip (m)

Z_0 = impedansi karakteristik (Ω)

h = tebal substrat (m)

ϵ_r = konstanta dielektrik relatif substrat (F/m)

Untuk panjang saluran transmisi mikrostrip dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut^[1].

$$\lambda_d = c/(f_r \sqrt{\epsilon_r}) \text{ (m)}$$

keterangan:

ϵ_r = *permitivitas dielektrik* relatif substrat (F/m)

c = cepat rambat cahaya di udara (3×10^8 m/s)

L_0 = panjang saluran transmisi (mm)

λ_d = panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip (mm)

Dimensi minimum *ground plane* yang dibutuhkan oleh antenna mikrostrip dapat dicari melalui persamaan berikut^[8].

$$L_g = 6h + L$$

$$W_g = 6h + W$$

Keterangan :

L_g = panjang sisi minimum *ground plane* (m)

W_g = lebar sisi minimum *ground plane* (m)

L = panjang *patch* persegi (m)

W = lebar *patch* persegi (m)

h = ketebalan substrat (m).

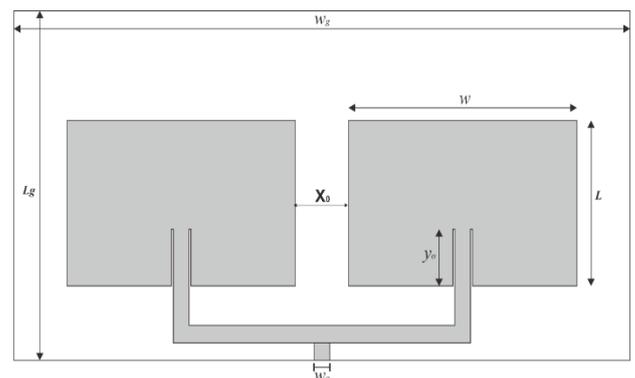
Untuk menentukan dimensi elemen peradiasi maka terlebih dahulu harus menentukan frekuensi kerja yang direncanakan, yaitu beroperasi pada frekuensi GSM 1800 Mhz, maka rentang frekuensi yang diambil yaitu pada 1775 – 1825 MHz, kemudian dihitung besarnya radius *patch*, dimensi saluran transmisi serta *ground plane* sesuai dengan rumus yang telah di jabarkan sebelumnya. Tabel-1 memperlihatkan hasil perhitungan dimensi elemen peradiasi serta *ground plane* dari antenna yang akan di fabrikasi.

Untuk merancang sebuah *rectenna*, diperlukan antenna dengan *gain* yang besar sehingga dapat menangkap gelombang elektromagnetik dengan maksimal. Maka pada antenna, perlu dilakukan lagi optimasi dengan cara memodifikasi antenna yang telah dibuat. Modifikasi antenna yang akan di lakukan adalah dengan meng-*array*-kan antenna mikrostrip *rectangular patch*. Nantinya, antenna mikrostrip tersebut akan memiliki 2 *patch* yang berukuran sama, sehingga kedua *patch* antenna tersebut akan saling menguatkan dan menghasilkan *gain* yang relatif besar.

Tabel 1. Tabel dimensi antenna *rectangular patch array*

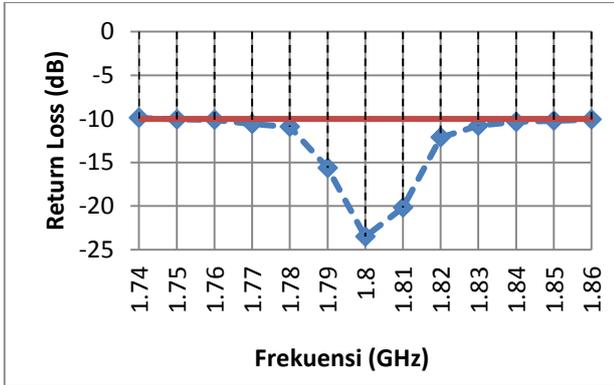
| Variabel | Dimensi (mm) |
|--------------------------------------|--------------|
| W (lebar <i>patch</i>) | 58.25 |
| L (panjang <i>patch</i>) | 39.6 |
| W_0 (lebar saluran transmisi) | 2.75 |
| L_0 (panjang saluran transmisi) | 26 |
| Y_0 (panjang <i>insert feed</i>) | 11.8 |
| W_g (lebar <i>ground plane</i>) | 85 |
| L_g (panjang <i>ground plane</i>) | 76 |
| X_0 (Jarak antara <i>patch</i>) | 10.5 |

Langkah selanjutnya setelah melakukan perhitungan dimensi antenna adalah simulasi. Simulasi dilakukan dengan menggunakan simulator CST 2010. Berikut adalah *prototype* antenna yang telah dirancang.

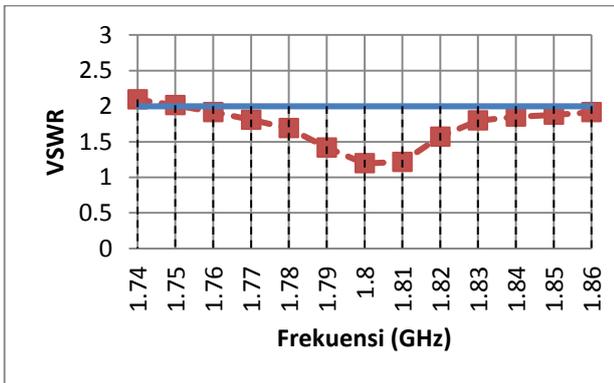


Gambar 2. Geometri Antena Mikrostrip *Rectangular Patch Array*

Gambar 2 merupakan bentuk geometri antenna *rectangular patch array*. Sebelum melakukan fabrikasi, perlu diketahui terlebih dahulu parameter-parameter performansi antenna seperti *return loss*, *VSWR* dan *gain*. Berikut merupakan grafik hasil simulasi antenna mikrostrip *rectangular patch array*.

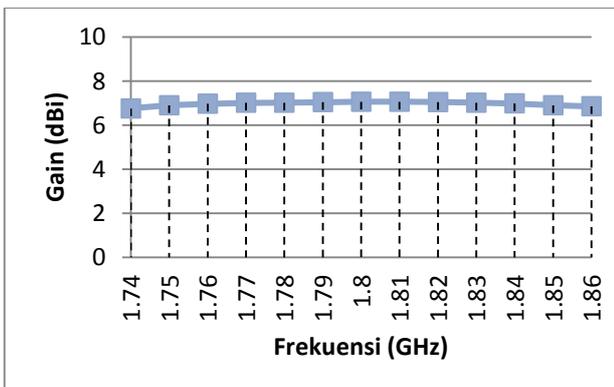


Gambar 3. *Return Loss* Antena (hasil simulasi)



Gambar 4. *VSWR* Antena (hasil simulasi)

Berdasarkan hasil simulasi, frekuensi yang terbaca memiliki *VSWR* lebih kecil dari 2 dan *return loss* dibawah -10 dB pada hasil simulasi diatas, didapatkan bahwa antenna dapat bekerja pada frekuensi 1775 – 1825 MHz, dengan frekuensi tengah 1800 MHz. Hal ini berarti antenna telah memenuhi syarat awal perancangan. Selanjutnya dilakukan simulasi *gain* antenna.



Gambar 5. *Gain* Antena (hasil simulasi)

Hasil simulasi diatas menunjukkan antenna mikrostrip *rectangular patch array* memiliki nilai *gain* yang relatif

besar dikarenakan nilai *gain*nya bernilai positif dengan rata-rata *gain* sebesar 7.06 dBi.

Tabel berikut merupakan perbandingan antara antenna mikrostrip *rectangular patch single* dengan antenna mikrostrip *rectangular patch array*.

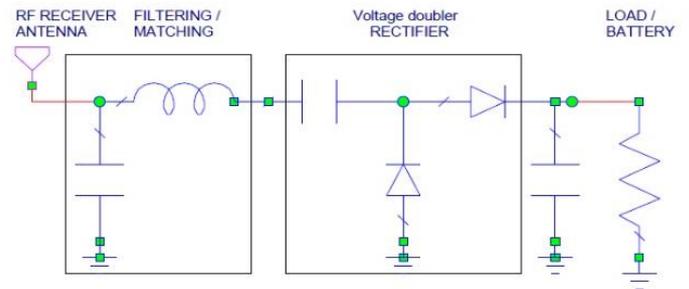
Tabel 2. Tabel perbandingan

| Jum. Patch | Rentang Frekuensi (MHz) | Total BW (MHz) | VSWR | RL (dB) | Gain (dBi) |
|--------------|--------------------------------|----------------|-------|---------|------------|
| Single Patch | 1775-1825 (sesuai spesifikasi) | 50 | 1.508 | -13.57 | 4.92 |
| Patch Array | 1775-1825 (sesuai spesifikasi) | 50 | 1.19 | -23.52 | 7.06 |

2.3. Perancangan Rectifier

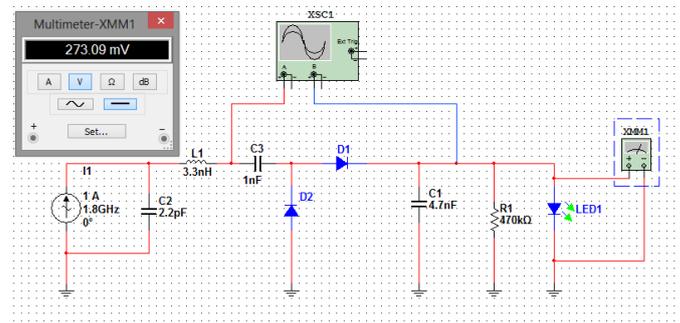
Dalam perancangan rangkaian penyearah (*rectifier*) ini ada beberapa hal yang harus diperhatikan. Diantaranya adalah nilai komponen yang akan digunakan. Karena frekuensi gelombang elektromagnetik adalah sinyal AC, dan untuk mendapatkan sinyal DC maka digunakan rangkaian penyearah yang disesuaikan dengan karakteristik antenna penerima hasil perancangan.

Antena penerima yang digunakan pada skripsi ini merupakan antenna yang bekerja pada frekuensi GSM-1800 MHz, maka perlu dilakukan perancangan *rectifier* yang sesuai (*match*) dan mampu menangkap gelombang elektromagnetik pada frekuensi 1800 MHz. Dan juga, pada rangkaian penyearah ini dioda yang dipakai adalah dioda *schottky* tipe HSMS-2820 SOT-23 *Single* yang mampu bekerja pada frekuensi dari 1800 MHz^[3].



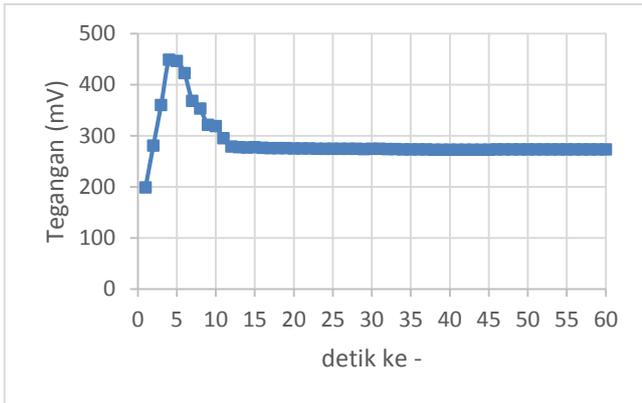
Gambar 6. *Layout* Perancangan *Rectifier*^[2]

Rectenna ini akan disimulasikan ke dalam *software* Multisim 11. Dimana pada simulasi, tegangan keluaran rangkaian *rectifier* akan dicoba untuk menyalakan sebuah LED. Gambar 7 berikut merupakan rangkaian *rectifier* yang akan disimulasikan.



Gambar 7. Rangkaian *Rectifier* (hasil simulasi)

Setelah disimulasikan pada *software* Multisim 11, maka didapatkan hasil tegangan keluaran (*output*) *rectifier* yang telah dirancang, seperti yang ada pada gambar 8 berikut.



Gambar 8. Grafik Tegangan Output *Rectifier* (hasil simulasi)

Tabel 3. Tabel perbandingan

| Rangkaian <i>Rectifier</i> | Tegangan Output DC (mV) | Indikator LED |
|-------------------------------|-------------------------|---------------|
| <i>Double Diode Rectifier</i> | 273.0 | LED menyala |

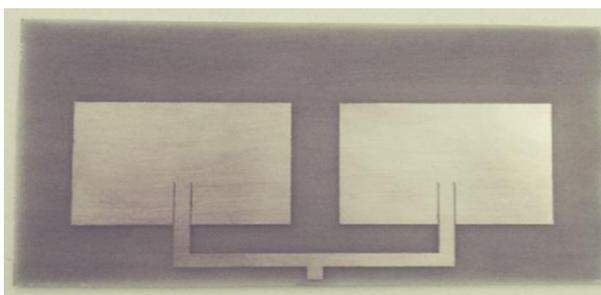
2.4. Fabrikasi Antena dan *Rectifier*

Setelah melakukan proses simulasi maka berdasarkan hasil yang diperoleh, selanjutnya akan dilakukan proses fabrikasi antena dan rangkaian *rectifier*.

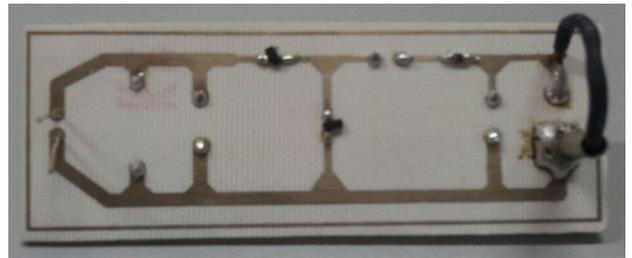
Gambar berikut memperlihatkan antena dan *rectifier* yang telah difabrikasi. Gambar 9 merupakan jalur *footprint* *rectifier*, gambar 10 dan gambar 11 memperlihatkan hasil fabrikasi antena dan *rectifier*.



Gambar 9. Jalur *Footprint* rangkaian *Rectifier* (perancangan)



Gambar 10. Antena yang telah difabrikasi (dokumentasi)



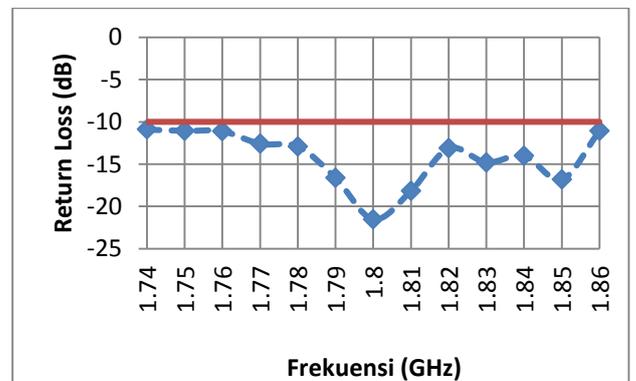
Gambar 11. *Rectifier* yang telah difabrikasi (dokumentasi)

III. ANALISIS HASIL PENGUJIAN

Tujuan utama dari pengukuran ini adalah untuk mendapatkan data-data karakteristik *rectenna* yang telah dibuat dan mengetahui berapa tegangan *output* hasil konversi *rectenna* yang dapat dihasilkan oleh rangkaian tersebut melalui pengukuran langsung terhadap performansi antena dan *rectifier*. Data yang di perlukan untuk diketahui adalah karakteristik antena mikrostrip *rectangular patch array* yang telah di fabrikasi dan karakteristik tegangan keluaran *rectifier* yang telah difabrikasi.

3.1. Pengujian *Return Loss* Antena

Berikut merupakan hasil pengukuran *Return Loss* antena uji yang telah di fabrikasi.



Gambar 12. *Return Loss* Antena (hasil pengujian)

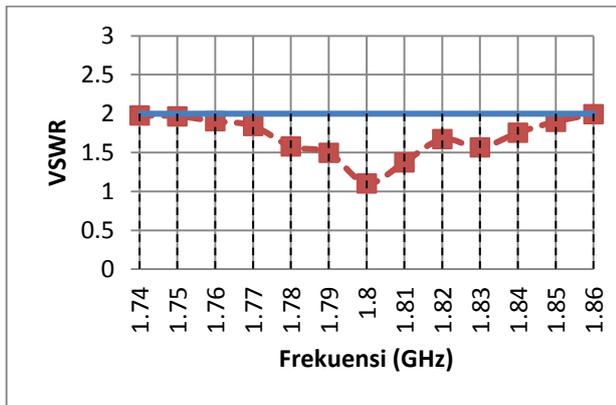
Hasil pengukuran *Return Loss* antena mikrostrip *rectangular patch array* diatas menunjukkan rentang frekuensi 1775 - 1825 MHz memiliki nilai *Return Loss* dibawah -10 dB sehingga dapat dikatakan bahwa antena dapat bekerja dengan baik pada rentang frekuensi yang telah diinginkan.

3.2. Pengujian VSWR

Dengan menggunakan persamaan *Return Loss*, dapat dihitung besarnya VSWR antena untuk setiap frekuensi yang didapat dari hasil pengukuran *Return Loss*. Nilai VSWR dapat ditentukan apabila nilai *Return Loss* sudah diketahui dengan menggunakan persamaan :

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

Grafik 13 berikut merupakan hasil pengukuran VSWR antena uji yang telah di fabrikasi..

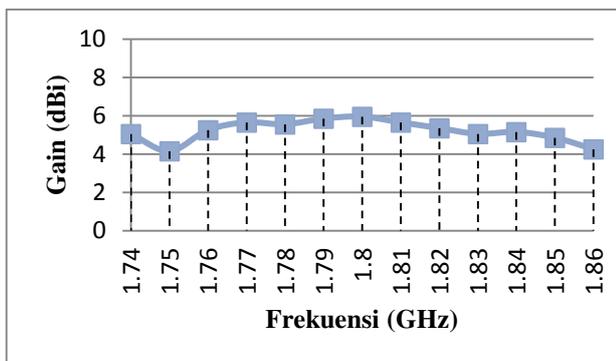


Gambar 13. VSWR Antena (hasil pengujian)

Hasil pengukuran VSWR pada grafik diatas menunjukkan rentang frekuensi 1775 - 1825 MHz memiliki VSWR dibawah 2 dan sehingga dapat disimpulkan bahwa kinerja antena tersebut sangat baik dan dapat digunakan pada rentang frekuensi tersebut.

3.3. Pengujian Gain Antena

Gain merupakan parameter dari sebuah antena, dimana nilainya dapat diketahui dengan cara membandingkan level penerimaan antena yang diuji dengan level penerimaan antena referensi, biasanya dibandingkan dengan antena standar yaitu antena *dipole* $1/2\lambda$. Grafik 7 berikut merupakan hasil pengukuran *gain* antena yang telah di fabrikasi.



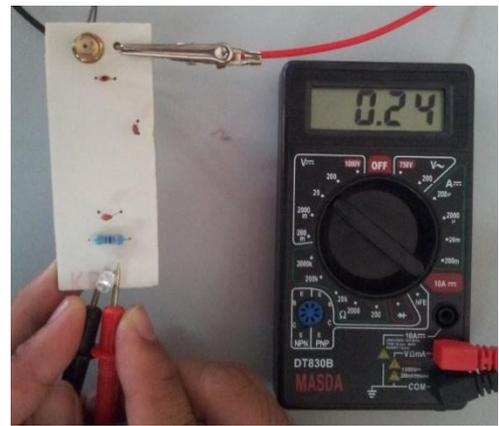
Gambar 14. Grafik *gain* Antena (hasil pengujian)

Hasil pengukuran *gain* diatas menunjukkan antena memiliki nilai *gain* yang cukup bagus diatas 5 dBi. Gain terbesar yaitu pada frekuensi 1800 Mhz yaitu sebesar 5.95 dBi.

3.4. Pengukuran Output Rectifier

Tujuan utama dari pengukuran *output rectifier* ini adalah untuk mengetahui apakah *rectifier* dapat bekerja sesuai dengan apa yang disimulasikan pada simulator Multisim 11 sebelumnya. Pengukuran *output rectifier* ini menggunakan sebuah *function generator* sebagai masukan sinyal frekuensi 1800 Mhz kemudian di bandingkan dengan hasil simulasi. Diharapkan nantinya *rectifier* yang telah difabrikasi mampu mengkonversi tegangan AC masukan *function generator* menjadi tegangan DC.

Gambar 15 berikut memperlihatkan hasil tegangan keluaran hasil konversi *rectifier*.

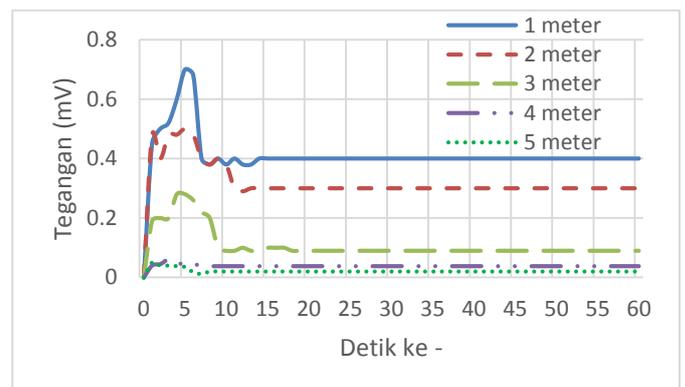


Gambar 15. Tegangan Keluaran yang terukur pada *rectifier* (dokumentasi)

Tegangan yang terukur pada *rectifier* adalah sekitar 240 mV, dengan menggunakan *function generator* sebagai masukan frekuensi.

3.5. Pengukuran Kinerja Rectenna

Pengukuran kinerja *rectenna* merupakan permasalahan utama dalam penulisan skripsi ini. Tujuan utama dalam mengukur kinerja dari rangkaian *rectenna* adalah untuk mengetahui tegangan *output* hasil *rectenna* tersebut dan kemampuan *rectenna* tersebut mengkonversi gelombang AC menjadi gelombang DC dan menghasilkan tegangan DC secara maksimal. Berikut merupakan gambar tegangan hasil konversi *rectenna*.



Gambar 16. Grafik Variasi Jarak Pengukuran Konversi Tegangan Output Rectenna (hasil pengujian)

Hasil konversi tegangan DC terbaik yang dilakukan oleh *rectenna* adalah pada jarak 1 meter didepan antena pemancar yaitu sebesar 0.4 mV. Dari gambar 16 dapat disimpulkan bahwa makin jauh antara antena pemancar dengan *rectenna*, maka gelombang elektromagnetik yang mampu dikonversi oleh *rectenna* semakin kecil. Adapun tegangan terkecil yang dihasilkan oleh *rectenna* yaitu pada jarak 5 meter dengan tegangan DC bernilai 0.02 mV.

IV. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, pengukuran, serta analisis dari *rectenna (rectifier antenna)* yang telah di buat, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil perancangan dan pembuatan, antenna mikrostrip *rectangular patch array*, yang terbuat dari bahan FR-4 Epoxy dengan nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) = 4.5, pada frekuensi 1775 – 1825 MHz, diperoleh dimensi elemen peradiasi antenna adalah sebagai berikut :

| Variabel | Dimensi (mm) |
|--|--------------|
| W (lebar patch) | 58.25 |
| L (panjang patch) | 39.6 |
| W₀ (lebar saluran transmisi) | 2.75 |
| L₀ (panjang saluran transmisi) | 26 |
| Y₀ (panjang insert feed) | 11.8 |
| W_g (lebar ground plane) | 85 |
| L_g (panjang ground plane) | 76 |
| X₀ (Jarak antara patch) | 10.5 |

2. Nilai tegangan keluaran (*output*) yang dihasilkan oleh rangkaian *rectenna* sangat dipengaruhi oleh jarak antara antenna pemancar gelombang elektromagnetik dengan *rectenna* tersebut. Dari analisis disimpulkan bahwa semakin dekat jarak antenna pemancar gelombang elektromagnetik ke arah *rectenna*, maka tegangan keluaran (*output*) *rectenna* tersebut semakin besar, begitu pula sebaliknya.
3. Nilai tegangan keluaran yang dihasilkan oleh *rectenna* pada perancangan skripsi ini masih relatif kecil, sekitar 0.4mV sehingga belum mampu menyalakan sebuah LED secara maksimal.

4.2 Saran

Adapun saran yang ingin penulis berikan demi pengembangan skripsi ini selanjutnya, antara lain :

1. Untuk saran pengembangan penelitian *rectenna* selanjutnya, dapat dilakukan dengan menggunakan antenna mikrostrip yang mampu menangkap gelombang elektromagnetik dengan frekuensi *triple-band* atau dengan antenna mikrostrip dengan frekuensi *ultra-wideband*.
2. Pada antenna mikrostrip, dapat dilakukan pengoptimalisasian lebih lanjut dari *patch array* antenna dengan kombinasi konfigurasi-konfigurasi *patch* yang baru, seperti *patch rugby ball*, *patch egg* atau *patch circular* agar didapatkan hasil yang lebih baik dan optimal.
3. Untuk mendapatkan hasil tegangan keluaran (*output*) yang lebih maksimal, maka pada *rectifier* dapat dilakukan dengan cara meng-*cascade*-kan rangkaian tersebut dua atau tiga *stage* lebih banyak, juga dengan melakukan proses simulasi *pe-matching*-an antenna

pada rangkaian *rectifier* tersebut. Simulasi *pe-matching*-an antara antenna dan *rectifier* sangat perlu, untuk mengetahui berapa besar daya yang hilang dan rugi-rugi yang timbul akibat pemasangan konektor antara antenna dan *rectifier* tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Balanis, Constantine A. 2005. *Antena Theory: Analysis and Design*, 3rd Edition. John Wiley and Sons, Inc.
- [2] Barcak, J.Michael and Hakan P. Partal, "Efficient RF Energy Harvesting by Using Multiband Microstrip Antenna Arrays with Multistages Rectifiers", Jurnal IEEE 2008.
- [3] Elektronika Dasar (2012), "Konsep Dasar Penyearah Gelombang (Rectifier)", diakses Juni - Juli, 2014. www.elektronika-dasar.web.id/teori-elektronika/
- [4] Firmasyah, Faizal, "Rancang Bangun Desain Antena PIFA (Planar Inverted F-Antenna) untuk Penangkapan Daya Elektromagnetik pada Frekuensi GSM 900 MHz dan DCS 1800 MHz dengan Metode Electromagnetic Harvesting", Jurnal Teknik POMITS, vol.1, 2012.
- [5] J. Paulo and P.D. Gaspar, "Review and future trend of energy harvesting methods for portable medical devices", Proceedings of the World Congress on Engineering 2010, Vol II, WCE 2010, June 30 - July 2, 2010, London, U.K.
- [6] Kraus, John Daniel. *Antennas*. McGraw-Hill International, 1988, New York.
- [7] Liang, J., C. C. Chiau, X. Chen, and C. G. Parini, "Printed circular disc monopole antenna for Ultrawideband applications", Electronics Letters, Vol. 40, No. 20, September 30, Jurnal IEEE 2004.
- [8] Nakar, Punit S, "Design of a Compact Microstrip Patch Antena for use in Nirkabel/Cellular Devices". Thesis, 2004. The Florida State University.
- [9] Nugraha, Rawan, "Perancangan dan Realisasi Rectifier Antenna pada frekuensi 900 MHz - 5GHz sebagai sumber alternatif", Skripsi, 2013. Universitas Telkom, Bandung.
- [10] Raymond E. Barnett, Jin Liu and Steve Lazar, "A RF to DC Voltage Conversion Model for Multi-Stage Rectifiers in UHF RFID Transponders", IEEE Journal of solid-state circuits, vol.44, no. 2, Feb. 2009
- [11] S. Meninger, "A low power controller for a MEMS based energy converter", Master's thesis, Dept. Electr. Eng. Comput. Sci., Mass. Inst. Technol., Cambridge, MA, Jun. 1999.
- [12] Tudose, Dan Stefan and Andrei Voinescu, "Rectifier Antenna Design for Wireless Sensor Networks", Jurnal IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, 2013.
- [13] Vullers. Ruud J.M, Visser. Huib J, (2008). "RF Harvesting Using Antenna Structures on Foil. Proceeding of Power MEMS", Japan, 2008.
- [14] Wang, Jiadong., Mark Patterson and Guru Subramanyam, "Design of 2.45GHz Rectifier Antenna and Frequency Tunable Antenna Design", Jurnal IEEE 2008.