

# Desain dan Implementasi Rectenna Hexagonal Patch Array pada Frekuensi 2,4 GHz

Herma Nugroho R A K, Sholeh Hadi Pramono, Erni Yudaningsyias

**Abstrak**— Penelitian *rectenna* yang dilakukan terdiri atas dua bagian yaitu antenna yang berbentuk *hexagonal array* dan *rectifier*. *Rectenna hexagonal array* ini didesain agar bisa menangkap gelombang radio (RF) pada frekuensi 2,4 GHz yang dapat diaplikasikan untuk *Wireless Local Area Network* (WLAN). Perancangan dilakukan menggunakan software CST *Microwave studio*, kemudian dilakukan fabrikasi dan pengukuran secara riil. Parameter pengujian *rectenna hexagonal patch array* meliputi *return loss*, *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), *gain*, *bandwidth*, pola radiasi dan efisiensi daya. Metode yang digunakan untuk desain dan analisis yaitu pemodelan *transmission line* dan *corporate feed line* untuk pengaturan perubahan jarak antar *patch* antenna. Perubahan variabel juga diteliti pengaruhnya terhadap parameter antenna khususnya daya terima antenna yang kemudian ditransmisikan ke rangkaian *rectifier*. Nilai parameter hasil simulasi menunjukkan nilai *return loss* adalah -33,38 dB, VSWR sebesar 1,041, *gain* sebesar 8,81 dBi, *bandwidth* adalah 0,084 GHz, daya sebesar 0,5 W sedangkan hasil pengukuran dari fabrikasi, *return loss* sebesar -33,21 dB, VSWR sebesar 1,048, *gain* sebesar 5 dBi, *bandwidth* sebesar 0,145 GHz.

**Kata Kunci**—*Rectenna, Patch, Array, Corporate Feed Line, VSWR*

## I. PENDAHULUAN

WIRELESS *power transmission* (WPT) merupakan transmisi energi secara *wireless* dari sumber listrik ke beban listrik. Penggunaan transmisi ini dilakukan jika koneksi kabel tidak memungkinkan menjangkau beban. Salah satu teknologi WPT yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan jangkauan kabel atau jarak sumber yang sangat jauh dari beban adalah *rectenna* [1].

*Rectenna* adalah kombinasi dari dua kata yaitu *rectifier* dan *antenna*. *Rectifier* akan mengkonversi energi *Radio Frequency* (RF) menjadi tegangan *Direct Current* (DC) sedangkan *antenna* sebagai penerima energi RF. Output tegangan dari *rectenna* dapat digunakan untuk menjalankan beban listrik misalnya sensor, kapal tanpa awak, *light emitting diode* (LED) dan sebagainya [2].

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi output *rectenna* antara lain adalah topologi antenna, rangkaian *rectifier* dan kombinasi dari keduanya.

Herma Nugroho R A K, Erni Yudaningsyias, Sholeh Hadi Pramono are with the Electrical Engineering Department of Brawijaya University, Malang, Indonesia (corresponding author provide phone 0341-554166; email hnugroho81@gmail.com).

Topologi dan susunan antenna, misalnya disusun *array* diharapkan mampu menangkap sinyal RF secara maksimal sehingga akan dapat memperbaiki RF *power harvesting* [3]. Faktor berikutnya yaitu tentang susunan *rectifier* misalnya digunakan *voltage double rectifier* sehingga tegangan output meningkat [2]. Selanjutnya, faktor kombinasi dari susunan antenna dan *rectifier* yang diharapkan menghasilkan output daya yang besar [3].

Peningkatan daya pada suatu *rectenna* tentunya akan berpengaruh terhadap efisiensinya. Berdasarkan penelitian sebelumnya dengan nilai efisiensi yang relatif masih kecil (34,1%) [4] maka diperlukan suatu metode desain untuk peningkatan efisiensi *rectenna*.

Secara garis besar metode desain yang digunakan pada antenna mikrostrip *array* adalah metode *corporate feed line* dan *series feed line*. Berdasarkan penelitian sebelumnya bahwa metode *series feed line* memiliki beberapa kelemahan antara lain nilai *gain* dan *return loss* yang rendah. Sedangkan pada *corporate feed line* memiliki beberapa kelebihan antara lain mudah dalam implementasi, adanya kontrol daya pada saluran tiap elemen, *gain* dan *return loss* yang besar [5]. Fokus pada penelitian ini adalah peningkatan efisiensi daya menggunakan metode *corporate feed line* dengan kombinasi susunan antenna *array* berbentuk *hexagonal*.

## II. LANDASAN TEORI

Secara garis besar metode penentuan *feeding* pada antenna mikrostrip *array* ada 2 yaitu *corporate feed microstrip array* dan *series fed microstrip array*. Penjelasan tentang kedua metode tersebut adalah sebagai berikut

### A. Rectenna

*Rectenna* pada dasarnya merupakan sebuah perangkat yang mengkonversi energi RF menjadi sebuah tegangan DC. Ini adalah kombinasi dari dua kata yaitu *rectifier* dan *antenna*. *Rectifier* akan mengkonversi energi RF menjadi tegangan DC sedangkan *antenna* sebagai penerima energi RF [1].

*Rectenna* memiliki potensi besar untuk mengirim, mengumpulkan dan mengkonversi energi frekuensi radio dalam daya DC yang berguna untuk *re-charge* perangkat elektronik berdaya rendah melalui ruang bebas tanpa menggunakan jalur transmisi fisik. Adapun blok diagram dari sistem *rectenna* ditunjukkan dalam Gambar 1. Energi RF akan diterima oleh antenna yang selanjutnya akan diubah menjadi energi listrik berupa sinyal

Alternating Current/ sinyal bolak-balik (AC). Daya dari antenna akan mengalami transfer daya maksimum ke beban di *rectifier* apabila impedansi antenna sama dengan impedansi beban, sehingga diperlukan rangkaian penyesuaian impedansi (*matching network*). Pada rangkaian *rectifier* sinyal AC tersebut dikonversi menjadi sinyal DC, kemudian sinyal ini akan menjalankan beban.

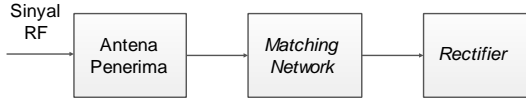
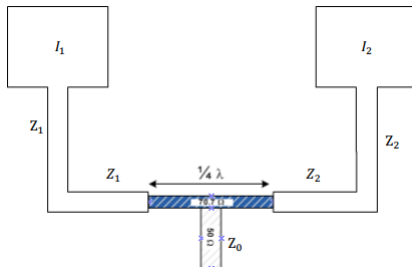


Fig. 1. SRM geometry with FEM mesh: 6/6 stator/rotor

B. Metode Corporate Feed Line

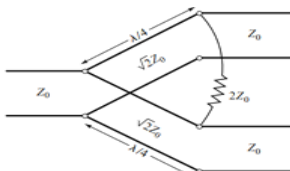
Penggambaran tentang metode ini dapat dijelaskan pada *feed* antenna array linear dengan 2 *patch* antenna sesuai Gambar 2.



Gambar 2. Dua *patch* linear array dengan *corporate feed* [7]

Metode *corporate feed line* digunakan secara umum dan banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang. Metode ini memiliki kontrol saluran di setiap *patch* dan sesuai pada penggunaan saluran yang meruncing kedua ujungnya atau pada transformator  $1/4$  panjang gelombang ( $\lambda$ ) antenna. Pada penelitian ini elemen *patch* dihubungkan dengan saluran pencatu dengan metode impedansi transformator  $1/4 \lambda$  atau sering disebut teknik pembagi daya Wilkinson.

Setiap elemen yang sama dari *patch* antenna memiliki resistansi input  $R_{in}$ . Elemen resistansi ini akan *matched* dengan impedansi saluran transmisi  $Z_1, Z_2$  dan arus pada masing-masing *patch* ( $I_1$  dan  $I_2$ ) yang digunakan untuk pembagian daya. Hal ini dapat dilakukan dengan teknik pembagian daya Wilkinson. Karakteristik impedansi  $\sqrt{2} Z_0$  dan isolasi *lumped* resistor  $2 Z_0$  dengan kondisi semua *port* bernilai sama  $Z_1 = Z_2 = Z_0$  [8]



Gambar 3. (a) Pembagi daya Wilkinson pada microstrip line, (b) rangkaian ekuivalen line transmisi [8]

Apabila nilai impedansi pada Gambar 3 . dari saluran transmisi transformator  $\lambda/4$  adalah  $Z$ , maka besarnya impedansi saluran tersebut adalah

$$Z = \sqrt{2} Z_0 \tag{1}$$

Kemudian ditentukan nilai panjang saluran transmisi transformator yaitu

$$l = \frac{1}{4} \lambda_g \tag{2}$$

dengan,

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \tag{3}$$

Sedangkan lebar saluran pencatu ( $W_0$ ) adalah

$$W_0 = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left[ \ln(B - 1 + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r}) \right] \right\} \tag{4}$$

dengan,

$$A = \frac{Z_0}{60} \left\{ \frac{\epsilon_r}{2} \right\}^{1/2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left\{ 0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right\} \tag{5}$$

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \tag{6}$$

III. DESAIN RECTENNA

A. Desain Antena

Antena mikrostrip yang dirancang adalah antenna mikrostrip *hexagonal patch array* pada frekuensi 2,4 GHz dengan metode *corporate feed line*. Substrat yang digunakan adalah FR4 Epoxy dengan konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) sebesar 4,3. Perancangan antenna tersebut menggunakan software Computer Simulation Technology (CST) 2014 Microwave Studio. Antena yang dirancang memiliki dimensi 33 x 38,5 mm.

Sebelum menentukan dimensi *patch* antenna maka terlebih dahulu ditentukan panjang gelombang diruang bebas ( $\lambda_0$ ) dengan perambatan ruang bebas ( $c$ ) sebesar  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$  pada frekuensi kerja 2,4 GHz. Sesuai persamaan (7) [9] berikut diperoleh nilai  $\lambda_0$  sebesar 125 mm.

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \tag{7}$$

Kemudian dilakukan penghitungan dimensi elemen peradiasi antenna yang terdiri dari panjang sisi hexagonal antenna ( $s$ ), lebar ( $W$ ) dan panjang ( $L$ ) [9][10][11]. Panjang sisi hexagonal antenna dan lebar ( $W$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan (8) dan (9) sebesar 19,4 mm dan 38,5 mm

$$s = \frac{c}{3.1033 f_r \sqrt{\epsilon_r}} \tag{8}$$

$$W = \frac{c}{2 f_r \sqrt{(\epsilon_r + 1)/2}} \tag{9}$$

Untuk menentukan panjang ( $L$ ) *patch*, maka terlebih dahulu ditentukan nilai konstanta dielektrik ( $\epsilon_{reff}$ ) dan nilai panjang tambahan  $\Delta L$  meggunakan persamaan (11) (12)

$$\epsilon_{reff} = \frac{(\epsilon_r + 1)}{2} + \frac{(\epsilon_r - 1)}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2} \tag{10}$$

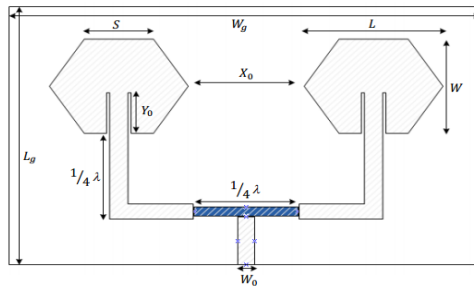
$$\frac{\Delta L}{h} = 0,412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3) + \frac{W}{h} + 0,264}{(\epsilon_{reff} - 1,258) (\frac{W}{h} + 0,8)} \tag{11}$$

$$L_{reff} = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (12)$$

$$L = L_{reff} - 2\Delta L \quad (13)$$

Dari hasil perhitungan persamaan (12) dan (13) diperoleh panjang *patch* sebesar 30,5 mm. Hasil perhitungan dari persamaan-persamaan tersebut kemudian diaplikasikan ke dalam simulasi antenna menggunakan software CST *Microwave studio*.

Geometri antenna mikrostrip sesuai persamaan tersebut ditunjukkan pada Gambar 4. *Patch* berbentuk *hexagonal* yang disusun secara *array*. Bahan substrat dielektrik yang digunakan adalah FR4 dengan  $\epsilon_r$  sebesar 4,3 dengan ketebalan substrat 1,5 mm sedangkan material tembaga yang digunakan mempunyai ketebalan 0,1 mm.



Gambar 4. Geometri antenna *hexagonal patch array* tampak depan

Hasil dari desain ukuran geometri antenna *hexagonal patch array* dapat dilihat pada Tabel 1 berikut

TABEL I  
UKURAN DIMENSI ANTENA HEXAGONAL PATCH ARRAY

Dimensi Antena	Keterangan	Ukuran (mm)
L	Panjang <i>patch</i>	33
W	Lebar <i>patch</i>	38,5
W <sub>0</sub>	Lebar saluran transmisi / <i>feedline</i>	2,8
S	Panjang sisi <i>hexagonal</i>	19,4
W <sub>g</sub>	Lebar <i>ground plane</i>	47,5
L <sub>g</sub>	Panjang <i>ground plane</i>	42
Y <sub>0</sub>	Panjang saluran <i>matching</i> impedansi	13
X <sub>0</sub>	Jarak antar sisi elemen	24

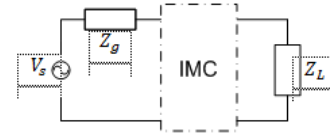
Berdasarkan Tabel.1 tersebut maka dapat diimplementasikan sebuah antenna *hexagonal patch array* seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Antena mikrostrip *hexagonal patch array* hasil fabrikasi

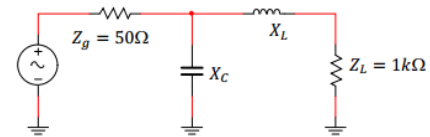
## B. Desain *Rectifier*

Rangkaian ini berfungsi menyearahkan tegangan AC yang dihasilkan oleh antenna menjadi tegangan DC [2]. Sebelum masuk rangkaian *rectifier* ini, maka impedansi saluran transmisi harus *match* dengan impedansi saluran beban, sehingga diperlukan rangkaian penyesuai impedansi (IMC) seperti Gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian Penyesuai Impedansi (IMC) [6]

Agar pada rangkaian IMC tersebut *match* maka dilakukan penambahan komponen penyesuai impedansi 2 elemen yaitu kapasitor dan induktor. Adapun rangkaian penyesuai impedansi yang akan digunakan rangkaian dengan komponen resistif bersifat *high pass*, dengan nilai  $R_g < R_L$ .



Gambar 7. Rangkaian ekuivalen IMC

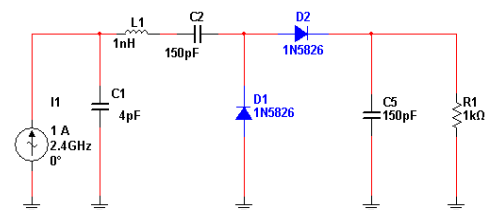
Berdasarkan Gambar 7, kemudian dilakukan penghitungan nilai faktor kualitas (Q), induktor (L) kapasitor (C) dengan persamaan sebagai berikut

$$Q = \sqrt{\frac{R_L}{R_g} - 1} \quad (9)$$

$$C = \frac{1}{2\pi f_r X_C} \quad (10)$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f_r} \quad (11)$$

Kombinasi dari antenna dan rangkaian *rectifier* ditunjukkan seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Desain rangkaian *rectenna*

Rangkaian *rectifier* yang terdapat dalam Gambar 8 tersebut terdiri atas *diode schottky* HSMS 2860 [12], kapasitor 150 pF dan beban resistif 1 kΩ.

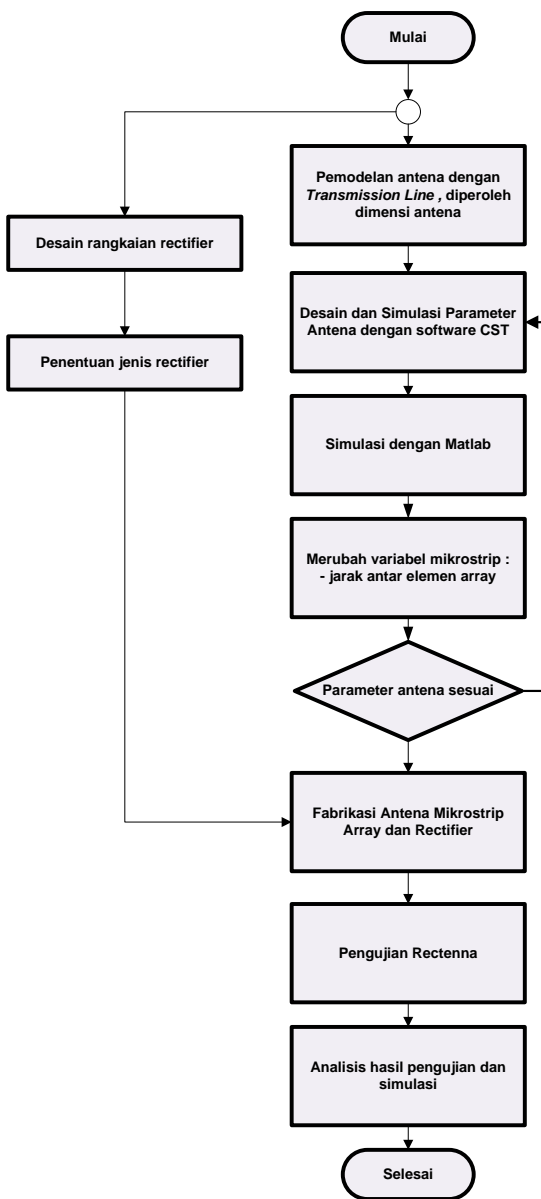
## IV. METODE PENELITIAN

Data awal diperoleh dari hasil pemodelan antenna antara lain berupa dimensi antenna, konduktansi pada *patch* antenna dan impedansi saluran. Data tersebut kemudian disimulasikan menggunakan CST Microwave

Studio 2014 sehingga diperoleh parameter antenna yang meliputi *VSWR*, *return loss*, *bandwidth*, *gain*, pola radiasi, polarisasi, impedansi. Pada simulasi ini juga dapat diketahui pengaruh perubahan dimensi *patch* dan jarak antar *patch* pada antenna. Pemodelan antenna dengan pendekatan elektromagnetik dilakukan dengan metode pemodelan *Transmission Line*. Kemudian data hasil simulasi tersebut digunakan untuk analisis output pada rangkaian akhir *rectenna* yaitu pada rangkaian pengkonversi RF menjadi DC.

Proses analisis hasil simulasi dari software CST, yaitu dengan cara merubah variabel antar elemen *array* kemudian diamati nilai parameter antenna yang yaitu *return loss*, *VSWR*, *gain*. Perubahan jarak *patch* antar elemen antenna akan berpengaruh terhadap nilai efisiensi daya dan paramter lainnya.

Diagram alur metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 9.



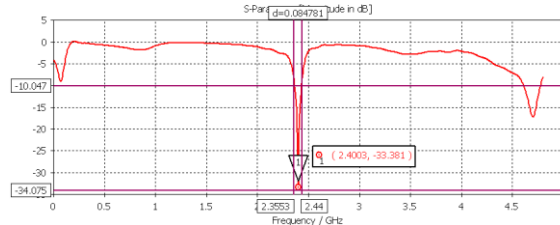
Gambar 9. Flow chart metode penelitian

V. HASIL DAN ANALISIS

Setelah dilakukan pengujian berupa simulasi dan pengukuran terhadap antenna dan *rectifier*, didapatkan parameter-parameter berikut:

A. Return Loss

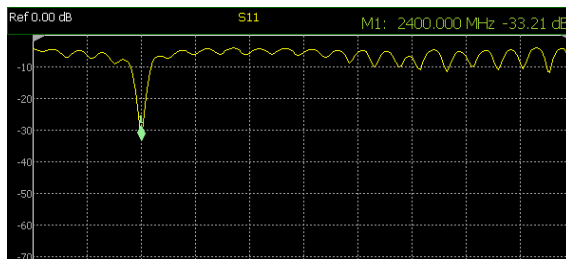
Hasil simulasi *return loss* dari antenna mikrostrip *hexagonal patch array* ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Hasil simulasi return loss antenna mikrostrip hexagonal patch array pada frekuensi 2,4 GHz

Berdasarkan hasil simulasi tersebut, didapatkan nilai *return loss* pada frekuensi 2,4 GHz sebesar -33,381 dB. Nilai ini berada jauh dibawah -10 dB yang merupakan batas nilai *return loss* yang artinya daya yang dipantulkan sangat sedikit dan mendekati kondisi yang *match* antara *transmitter* dan beban/antenna. Frekuensi kerja yang diketahui dari hasil simulasi yaitu dari 2,355 GHz sampai dengan 2,44 GHz. Antena ini dibuat untuk aplikasi WLAN dengan lebar frekuensi sebesar 0,084 GHz.

Selain dari hasil simulasi, *return loss* juga diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan *Vector Network Analyzer* tipe N9923A seperti Gambar 11.



Gambar 11. Hasil pengukuran return loss dengan Vector network analyzer N9923A pada frekuensi 2,4 GHz

Gambar 11. menunjukkan bahwa *return loss* yang dihasilkan dari antenna yang telah difabrikasi pada frekuensi 2,4 GHz memiliki nilai *return loss* sebesar -33, 21 dB. Antena hasil pengukuran memiliki *range* frekuensi kerja dari 2,355 GHz sampai dengan 2,55 GHz sehingga *bandwidth*nya sebesar 0.145 GHz.

B. Bandwidth

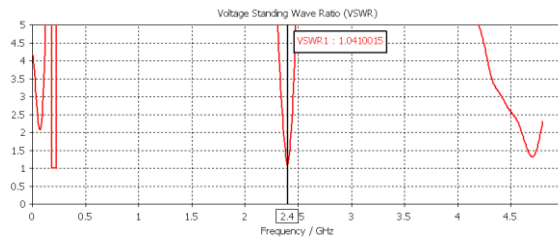
*Bandwidth* antenna adalah *range* frekuensi antenna dengan beberapa karakteristik, sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Dari penelitian yang telah dilakukan, *bandwidth* antenna dapat diketahui dari frekuensi kerja antenna baik dari hasil simulasi maupun dari hasil pengukuran seperti pada Tabel II.

TABEL II  
BANDWIDTH ANTENA MIKROSTRIP HEXAGONAL PATCH ARRAY

Hasil	Frekuensi Resonansi (GHz)	Bandwidth (GHz)
Simulasi	2,36 – 2,446	0,084
Pengukuran	2,355 – 2,50	0,145

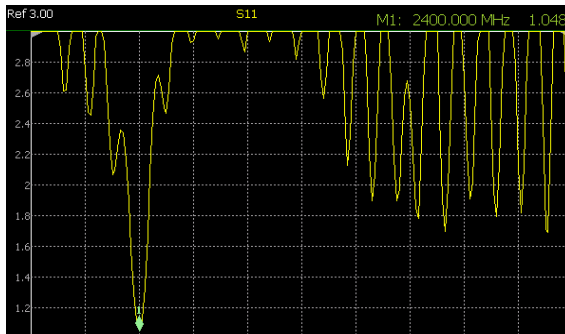
### C. VSWR

Salah satu parameter penting berikutnya dalam suatu antenna adalah *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR). VSWR adalah pengukuran dasar dari impedansi *matching* antara saluran transmisi dan antenna. Hasil simulasi VSWR ditunjukkan seperti Gambar 9.



Gambar 12. Hasil simulasi VSWR mikrostrip *hexagonal patch array* pada frekuensi 2,4 GHz

Selain dari hasil simulasi, VSWR antenna mikrostrip *hexagonal patch array* juga diukur dengan menggunakan *Agilent Vector Network Analyzer* seperti terlihat dalam Gambar 13.



Gambar 13. Hasil pengukuran VSWR dengan *Agilent Vector network analyzer N9923A*

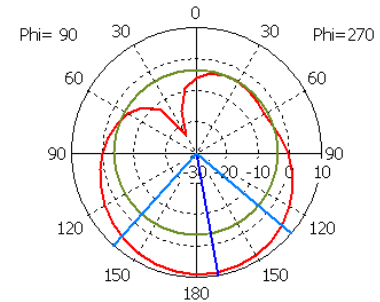
Berdasarkan hasil simulasi dan pengukuran, hasil VSWR yang didapatkan pada frekuensi 2,4 GHz adalah 1,041 dan 1,048. Data hasil simulasi dan pengukuran memiliki selisih yang kecil dan memenuhi persyaratan nilai VSWR yaitu lebih kecil dari dua ( $VSWR < 2$ ). Hal ini membuktikan antenna mikrostrip yang telah dibuat memenuhi syarat karakteristik antenna yang baik karena hampir tidak ada gelombang pantul dengan nilai koefisien refleksi yang sangat kecil.

### D. Gain dan Pola Radiasi

Pengukuran *gain* antenna dapat dilakukan dengan cara membandingkan antara *gain* antenna mikrostrip *hexagonal array* dengan *gain* antenna referensi. Antena referensi yang digunakan adalah antenna USB adapter wifi TL-WN722N. USB adapter wifi digunakan sebagai penerimaan sinyal dari *access point*, dan memiliki *gain* sebesar 4 dBi. Adapun perhitungan *gain* yang diukur dapat dicari sesuai persamaan (12).

$$G_u = G_{ref} + P_u - P_{ref} \quad (13)$$

Hasil level daya penerimaan dari antenna USB adapter wifi TL-WN722N frekuensi 2,4 GHz adalah -38 dBm, sedangkan maksimum level daya penerimaan dari antenna mikrostrip *hexagonal patch array* adalah -37 dBm sehingga diperoleh nilai *gain* yang diukur sebesar 5 dBi. Sedangkan *gain* dari hasil simulasi dapat diperoleh dari grafik polar yang dapat dilihat dari *magnitude mainlobe* yang dihasilkan oleh pola radiasi antenna mikrostrip *hexagonal patch array* seperti pada Gambar 14.



Gambar 14. Pola radiasi antenna mikrostrip *hexagonal patch array*

Gambar 14 menunjukkan *gain* yang diperoleh dari hasil simulasi sebesar 8,73 dBi sedangkan nilai *Half Power Beam Width* (HPBW) yang diperoleh adalah  $91,4^\circ$ . HPBW adalah lebar sudut yang memisahkan dua titik setengah daya pada pancaran utama dari pola radiasi. Titik penurunan setengah daya terletak pada 3 dB. Nilai *side lobe level* (*lobe* kecil yang ada di dekat *main lobe*) pada pola radiasi antenna adalah -12,4 dB.

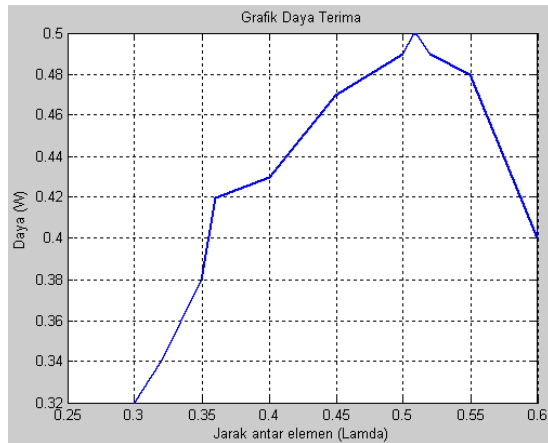
### E. Level Daya

Daya terima dari suatu antenna berkaitan dengan kemampuan antenna tersebut dalam menangkap sinyal di udara bebas sehingga dapat diubah menjadi tegangan listrik setelah diproses di rangkaian *rectifier*. Pengukuran level daya menggunakan *Spectrum Analyzer* dengan nilai daya sebesar -33,34 dBm. Sedangkan jika dilihat dari hasil simulasi dengan menggunakan CST maka diperoleh nilai level daya sebesar 0,499 W.

Setelah diketahui nilai dari daya yang diterima antenna maka daya tersebut sebagai daya input ke rangkaian *rectifier*. Nilai daya ini berpengaruh terhadap nilai tegangan output *rectifier*. Setelah dilakukan simulasi terhadap rangkaian *rectifier* maka dihasilkan tegangan sebesar 357,36 mV.

*Pengaruh jarak 'x<sub>0</sub>' antar elemen array terhadap daya*

Perubahan jarak antar elemen array memiliki pengaruh yang besar terhadap daya yang diterima antenna mikrostrip. Apabila jarak antar elemen terlalu dekat atau saling berhimpit maka akan terjadi *electromagnetically coupling* dan apabila jarak antar elemen terlalu jauh maka akan memperbesar nilai rugi-rugi daya. Adanya pengaruh jarak terhadap daya terima dapat diketahui dari Gambar 15.



Gambar 15. Pengaruh jarak antar elemen array terhadap daya terima

## VI. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, telah dilakukan desain dan pembuatan *rectenna hexagonal patch array* menggunakan metode *Corporate Feed Line*. Pemodelan antenna untuk mendapatkan data dimensi antenna telah dilakukan, kemudian dilakukan pengujian parameter antenna melalui prosedur pengukuran dan analisisnya berdasarkan perubahan variabel yaitu jarak antar elemen *patch array* antenna yang berpengaruh terhadap daya terima antenna. Berdasarkan semua hasil dan pembahasan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil pengukuran *Rectenna* dengan antenna *hexagonal patch array* menghasilkan nilai *return loss* sebesar -33,381 dB pada frekuensi tengah 2,4 GHz serta bandwidth antenna adalah 0,145 GHz yang mengalami peningkatan dari hasil simulasi (0,084 GHz).
2. VSWR yang diperoleh dari hasil simulasi adalah 1,041 dan pengukuran adalah 1,048. Hal ini membuktikan antenna mikrostrip yang telah dibuat memenuhi syarat karakteristik antenna yang baik karena nilai VSWR < 2. dan mendekati 1 sehingga mendekati kondisi *match* terhadap saluran transmisinya .
3. Gain yang dihasilkan dari hasil pengujian cukup besar yaitu 5 dBi dengan pola radiasi *omnidirectional*, sedangkan pada hasil simulasi direktivitas pada *main lobe* terbesar memiliki gain sebesar 8,73 dBi.
4. Daya optimum sebesar 0,499 W berdasar hasil simulasi pada antenna *hexagonal patch array* ini terletak pada jarak 63,5 mm antar elemen *patch*.

5. Berdasarkan simulasi dihasilkan tegangan output *rectenna* sebesar 357,36 mV.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Imatsu, O., Setijadi, E., & Wirawan, D E A. 2012. *Rancang Bangun Antena Mikrostrip pada Frekuensi GPS L1 Berbasis Sistem Transfer Daya Nirkabel*. Jurnal Teknik Pomits Vol. 1, No. 1.
- [2] Anuroop; Gangwar, D and Yadava R. L.. 2014. *Design and Analysis of a Pentagonal Rectenna*. International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN).
- [3] Olgun, O.,& Chen, C. 2011. *Investigation of Rectenna Array Configurations for Enhanced RF Power Harvesting*. IEEE. Antennas And Wireless Propagation Letters, VOL. 10.
- [4] Zhu, N., Kihun Chang, Mingguang Tuo, Peng Jin, Hao Xin and Richard W. 2011. *Design of High-Efficiency Rectenna for 1,575 GHz Wireless Low Power Transmission*. IEEE.
- [5] Huque, Tanvir.,Al-Amin Chowdury.,K Hosain and Shah Alam. 2011. *Performance Analysis of Corporate Feed Rectangular Element and Circular Patch Elemen 4x2 Mikrostrip Array Antenna*. International Journal of Advanced Computer Science and Application (IJACSA). Vol.2. No.8
- [6] Saad, B., Ullah, M.A & Moury, S. 2013. *Design of A Low Power 2.45 GHz RF Energy Harvesting Circuit for Rectenna Harvesting Circuit for Rectenna*. In IEEE.
- [7] Brancroft, R. 2009. *Microstrip and Printed Antenna Design*. 2nd Edition. USA: Scitech Publishing, Inc.
- [8] Pozar, David M. 2011. *Microwave Engineering*. Fourth Edition. USA.
- [9] Constantine A.,Balanis. 2005. New Jersey: *Antenna Theory: Analysis Design, Third Edition*. ISBN 0-471-66782-X. John Wiley & Sons, Inc.
- [10] Srivastava, S., Avinish K, T., H.P Sinha. 2013. International Journal of Scientific Engineering and Technology (IJSET). Volume .2, Issue No.2, pg: 77-82
- [11] Basu S, Srivastava A dan Goswami A. 2013. *Dual Frequency Hexagonal Microstrip Patch Antenna*. Int. J. Sci. Res. Publ. Vol 3 Issues 7.
- [12] [www.avagotech.com/PDF/HSMS-282\\_Datasheet.pdf](http://www.avagotech.com/PDF/HSMS-282_Datasheet.pdf)