

# Antena Slot Waveguide Segi Empat Segala Arah pada Frekuensi 2.4 GHz

## Omnidirectional Slot Rectangular Waveguide Antenna at 2.4 GHz Frequency

Sri Hardiati<sup>a,\*</sup>, Yuyu Wahyu<sup>a</sup>, Hanindya Permatasari<sup>b</sup>, dan Budi Prasetya R.<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.  
Komp LIPI Gd 20, Jl. Sangkuriang 21/54D, Bandung 40135, Indonesia

<sup>b</sup> Jurusan Teknik Elektro Telkom University Bandung.  
Jl. Telekomunikasi No. 1, Bandung, Indonesia

---

### Abstrak

Antena diharapkan memiliki desain dengan konstruksi yang lebih mudah, murah dan efisien. Antena *slot waveguide* adalah antena gelombang mikro. Antena ini berupa suatu *waveguide* yang mempunyai *slot-slot* membentuk *array* dan terletak pada dinding *waveguide* untuk memperoleh *gain* tinggi. Dalam *paper* ini dibahas mengenai eksperimen antena *slot waveguide* segi empat (*rectangular*) dengan enam *slot* yang tersusun secara paralel sepanjang *waveguide* dan beroperasi pada frekuensi 2.4 GHz. Hasil pengukuran dari antena *slot waveguide* ini diperoleh karakteristik antena dengan spesifikasi *bandwidth* sebesar 33 MHz pada batas nilai  $VSWR \leq 1.5$ . Antena *slot waveguide* ini menghasilkan pola radiasi omnidireksional dengan *gain* sebesar 4.121 dBi pada frekuensi operasi 2.4 GHz. Sehingga antena tersebut dapat diestimasikan layak untuk diimplementasikan pada sistem Wi-Fi dan sistem komunikasi lain dengan frekuensi operasi 2.4 GHz.

**Kata kunci :** Antena *slot waveguide*, *rectangular waveguide*, gelombang mikro, *omnidirectional*.

---

### Abstract

*Antenna design expected has easier, cheaper and more efficient construction. A slot waveguide antenna is microwave antenna. This antenna is shaped a waveguide has the slots that formed array in the wall of waveguide to produce higher gain. This paper discussed about the experiment of the slot waveguide antenna array which has parallelized six slots along the rectangular waveguide operating at a frequency of 2.4 GHz. Measurement results obtained are antenna characteristics where VSWR limit value is  $\leq 1.5$ , omnidirectional radiation pattern with a gain of 4.121 dBi in operating frequency of 2.4 GHz. So it can be estimated to be feasible and enable implemented as the Wi-fi antenna system and another communication systems with operate frequency of 2.4 GHz.*

**Keywords :** Slotted waveguide antenna, rectangular waveguide, microwave, omnidirectional

---

## I. PENDAHULUAN

Antena *array slot waveguide* adalah antena yang biasa diterapkan dalam sistem komunikasi dan beroperasi pada frekuensi gelombang mikro (*microwave*). Antena *slot* ini mempunyai struktur geometri yang sederhana dan menarik, hal tersebut disebabkan *antenna slot waveguide* memiliki struktur *planar*, kompak dan pita frekuensi yang relatif lebar, juga kemampuan yang dapat menunjang memenuhi kebutuhan sistem komunikasi jarak jauh.

Konstruksi antena *slot waveguide* mudah dibuat. Pada umumnya antena *slot waveguide* berbentuk *slot array* untuk memperoleh *gain* yang besar dan *slot array* dapat dikonfigurasi untuk menghasilkan pola radiasi yang diinginkan.

Dalam *paper* ini dibahas mengenai hasil eksperimen antena *slot waveguide* dengan 6 *slot* dan

berbentuk *array* beroperasi pada frekuensi 2.4 GHz. Antena *slot waveguide* ini mempunyai pola radiasi omnidirectional dan mempunyai *bandwidth* 33 MHz dengan  $VSWR \leq 1.5$ . Dengan bentuk menempatkan *slot* yang membentuk suatu *array* pada *waveguide* menghasilkan *gain* sebesar 4.121 dB. Pola radiasi yang dimiliki antena *slot waveguide* ini dimungkinkan dapat menunjang sistem *Wireless Fidelity* (Wi-Fi) sebagai salah satu layanan *hotspot* dan sistem komunikasi lain yang beroperasi pada frekuensi 2.4 GHz.

## II. METODE DESAIN ANTENA SLOT WAVEGUIDE

### A. Rectangular Waveguide

*Waveguide* adalah tabung logam berongga yang digunakan untuk propagasi gelombang elektromagnetik dalam rentang frekuensi *microwave* [1]. Dalam *waveguide* medan listrik dan magnet dibatasi oleh ruang dari *waveguide*. Tiga tipe gelombang yang dapat propagasi melalui saluran transmisi yaitu TEM (*Transverse Electromagnetic*), TE (*Transverse Electric*) dan TM (*Transfer Magnetic*) [2].

*Rectangular waveguide* berupa tabung logam berongga dengan penampang persegi panjang

---

\* Corresponding Author.

Email: ash\_egt@yahoo.com

Received: November 25, 2016; Revised: December 8, 2016

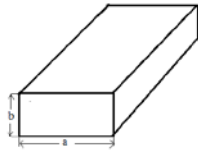
Accepted: December 8, 2016

Published: December 20, 2016

© 2016 PPET - LIPI

doi: 10.14203/jet.v16.46-51

(*rectangular*). Mode propagasi yang paling sederhana dan dominan dalam *rectangular waveguide* disebut Mode TE<sub>10</sub>, yang mode tersebut terjadi bila dimensi *waveguide* mempunyai dimensi  $a > b$  seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Konfigurasi *Rectangular Waveguide*.

$a$  adalah lebar *waveguide* dan  $b$  adalah tinggi *waveguide*.

Frekuensi *cut off* ( $f_c$ ) untuk mode TE <sub>$m,n$</sub>  [1] diberikan Persamaan 1.

$$f_c = \frac{1}{2\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2}} \quad (1)$$

Panjang gelombang dalam *waveguide* ( $\lambda_g$ ) untuk mode TE <sub>$m,n$</sub>  ditentukan seperti yang dijelaskan [1] dengan Persamaan 2.

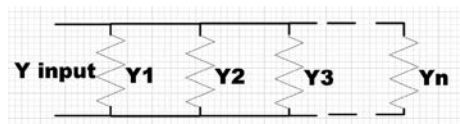
$$\lambda_g = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\lambda_0}\right)^2 - \left(\frac{1}{\lambda_{cut\ off}}\right)^2}} \quad (2)$$

### B. Karakteristik Array Slot

*Array slot* pada *waveguide* dapat meningkatkan *gain* dengan memampatkan *beam* secara vertikal. Karena arah *slot-slot* vertikal sepanjang *guide*, maka polarisasi yang terjadi adalah horizontal. Jumlah *slot* pada *waveguide* dapat meningkatkan *gain* [3].

Posisi *slot* yang memotong dinding *waveguide* akan mengganggu arus yang mengalir pada dinding *waveguide*, dan membuat arus mengitari *slot*, yang akan menginduksi medan listrik pada *slot*. Radiasi akan muncul ketika arus harus mengitari *slot-slot* untuk melanjutkannya pada arah yang diinginkan. Sehingga, posisi *slot* menentukan impedansi yang diberikan pada saluran transmisi dan jumlah energi yang di-*couple* ke *slot* dan diradiasikan dari *slot* [3].

Konfigurasi *array slot* harus dapat beresonansi supaya dapat memberikan beban resistif pada *waveguide*. Rangkaian ekuivalen dari antena *slot waveguide* dengan *slot-slot* longitudinal pada *waveguide* ditunjukkan seperti Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian ekuivalen antena *waveguide slot*

### III. DESAIN ANTENA SLOT WAVEGUIDE

Untuk desain antena *slot waveguide*, *slot* tersebut akan mengurangi permukaan dari sisi *waveguide* yang dipotong untuk mendapatkan resonansi yang diinginkan [4]. Hal-hal yang harus diperhatikan, seperti panjang *slot*, jarak antar *slot*, dan posisi *feed*. *Slot* terletak pada sisi bidang *waveguide* dan memanjang sepanjang *waveguide* dengan jumlah 6 *slot*.

### A. Spesifikasi Antena.

Dalam penelitian antena *slot waveguide* ini, spesifikasi teknik yang diinginkan sebagai berikut :

- Frekuensi tengah : 2.4 GHz
- Impedansi : 50
- VSWR : 1.5
- *Bandwidth* :  $\geq 1\%$
- Pola Radiasi : Omnidireksional
- *Gain* :  $\geq 4.1$  dB

Bahan yang digunakan untuk *waveguide* adalah bahan plat kuningan dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Tebal : 1 mm
- Lebar *waveguide* ( $a$ ) : 109.22 mm
- Tinggi *waveguide* ( $b$ ) : 54.61 mm
- Total panjang kuningan : 495.37 mm

### B. Struktur Antenna Slot Waveguide.

Antena *slot waveguide* dibentuk dengan membuat *slot* dengan posisi pada permukaan *waveguide*. Struktur *waveguide* adalah segi empat (*rectangular*) dengan bahan kuningan dan dimensi seperti yang disebutkan pada spesifikasi. *Slot* ditempatkan dengan model paralel yang terletak secara bergantian pada sisi kanan dan kiri dari garis tengah permukaan sisi *waveguide* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Dalam desain antena *slot waveguide*, panjang masing-masing *slot* dan jarak antar *slot* harus sama untuk keperluan resonansi. Dengan persamaan yang dijelaskan [4], maka didapatkan nilai panjang *slot* yang dinyatakan pada Persamaan 3.

$$L = \lambda_0 / 2 = 125 \text{ mm} / 2 = 62,5 \text{ mm} \quad (3)$$

Panjang gelombang dalam *waveguide* mode TE<sub>10</sub> dapat dihitung dengan panjang gelombang *cut off* ( $\lambda_c$ ) dari mode TE<sub>10</sub> berdasarkan dari penjelasan [5], maka panjang gelombang *waveguide cut off* adalah  $2a$ .

$$\lambda_c = 2a = (2)(109,22) = 218,44 \text{ mm} \quad (4)$$

Dengan menggunakan Persamaan 2, maka diperoleh panjang gelombang dalam *waveguide* sebagai berikut.

$$\lambda_g = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\lambda_0}\right)^2 - \left(\frac{1}{\lambda_{cut\ off}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{125}\right)^2 - \left(\frac{1}{218,44}\right)^2}} = 152,42 \text{ mm}$$

*Slot* dicatu sefasa dengan mengatur jarak pusat pada interval setengah panjang gelombang elektrik yang terletak sepanjang *waveguide*. Jadi jarak antar *slot* adalah  $\lambda_g/2$  dan diperoleh nilai sebesar :

$$\text{Jarak antar slot} = \lambda_g / 2 = 76,21 \text{ mm} \quad (5)$$

Lebar slot diperoleh sebesar seperdua puluh panjang gelombang *waveguide*. Maka perhitungan lebar slot-nya adalah:

$$\begin{aligned} \text{Lebar slot} &= \lambda_g/20 \\ &= 152,42 \text{ mm}/20 = 7,62 \text{ mm} \end{aligned} \quad (6)$$

Sesuai spesifikasi awal, jumlah slot yang dipilih adalah enam slot. Dengan N adalah jumlah slot, maka N = 6. Diasumsikan berhasil dibuat suatu slot yang beresonansi dan mengatur jarak tepat pada  $\lambda_g/2$ , maka masing-masing slot mempunyai admitansi  $1/N$ . Dengan persamaan seperti yang dijelaskan [6][7], maka jarak slot dari *centerline* adalah sebagai berikut:

$$G_{\text{slot}} = \frac{1}{N} = \frac{1}{6} \quad (7)$$

$$G_{\text{waveguide}} = 2,09 \frac{\lambda_g}{\lambda_0} \left(\frac{a}{b}\right) \cos^2 \frac{\pi \lambda_0}{2 \lambda_g} \quad (8)$$

$$= 2,09 \frac{152,42}{125} \left(\frac{109,22}{54,61}\right) \cos^2 \frac{(3,14)(125)}{(2)(152,42)} = 5,094.$$

$$Y = \frac{G_{\text{slot}}}{G_{\text{waveguide}}} \quad (9)$$

$$= \frac{1/6}{5,094} = 0,0327$$

$$\text{offset (x)} = \frac{a}{\pi} \sqrt{\arcsin Y \text{ (rad)}} \quad (10)$$

$$= 19,758 \text{ mm}$$

Bagian tengah dari slot terakhir adalah sejauh *waveguide*  $1/4$  panjang gelombang dari ujung tertutup *waveguide*. Kita mengetahui sebuah *short circuit*  $1/4$  panjang gelombang *stub* dari saluran transmisi terlihat seperti sebuah *open circuit*, jadi ujung tertutup tidak memiliki pengaruh terhadap impedansi.

$$\begin{aligned} \text{Jarak akhir atas} &= \frac{\lambda_g}{4} \\ &= 152,42/4 \\ &= 38,11 \text{ mm}. \end{aligned} \quad (11)$$

Perhitungan *gain* dan impedansi menggunakan cara sederhana seperti yang dijelaskan pada [3], maka *gain* dan impedansi antenna slot *waveguide* yaitu seperti pada *array dipole*. Pendekatan rumus *gain* dengan N jumlah total slot.

$$\begin{aligned} \text{Gain} &= 10 \log \left( \frac{N_{\text{slot}}}{2} \times \frac{\lambda_g}{\lambda_0} \right) \\ &= 10 \log \left( \frac{6}{2} \times \frac{152,42 \text{ mm}}{125 \text{ mm}} \right) \\ &= 5,633 \text{ dB}. \end{aligned} \quad (12)$$

Untuk mengetahui impedansi karakteristik slot maka digunakan persamaan yang diambil dari [8] dan dinyatakan dalam Persamaan 13. Dengan  $Z_0$  untuk ruang bebas adalah  $377 \Omega$  dan  $Z_d$  adalah impedansi karakteristik *antenna dipole*  $\lambda/2$ , maka impedansi slot ( $Z_s$ ):

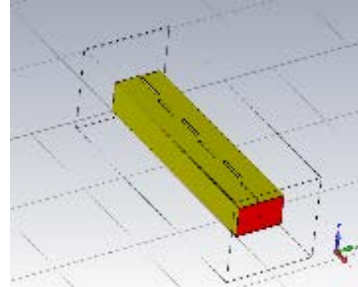
$$\begin{aligned} Z_s &= \frac{Z_0^2}{4Z_d} \\ &= \frac{35532}{4Z_d} \end{aligned} \quad (13)$$

Dengan impedansi karakteristik *dipole*  $\lambda/2$  adalah  $(73+j42,5)\Omega$ , maka impedansi karakteristik slot:

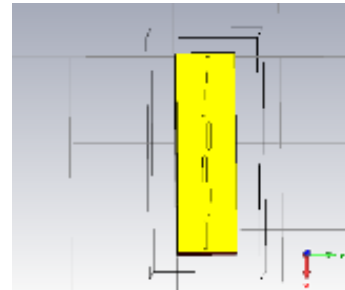
$$Z_s = \frac{35532}{73 + j42,5} = 363,5 - j211,6\Omega$$

### C. Desain dan Simulasi Antena Slot Waveguide

Desain *antenna waveguide array* 6 slot berdasarkan simulasi dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 3.

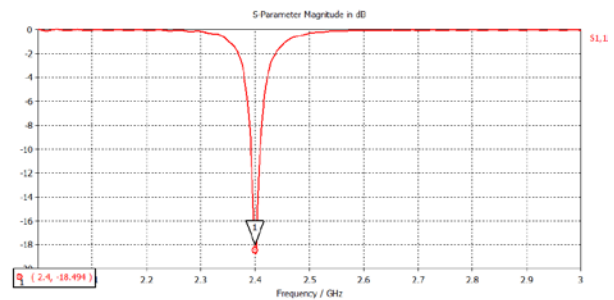


Gambar 3. Desain Antena array Waveguide 6 slot

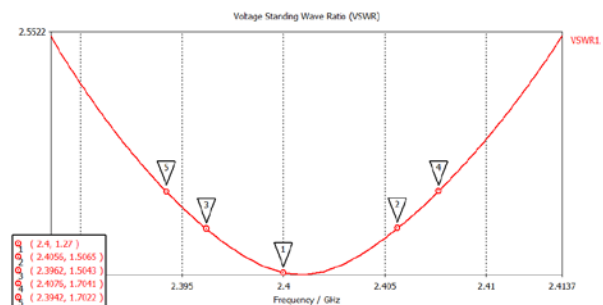


Gambar 4. Desain Antena array Waveguide 6 Slot Pandangan Atas

Hasil simulasi *return loss* dan VSWR ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6. Nilai VSWR yang terukur pada frekuensi 2.4 GHz menunjukkan 1.27. Pada frekuensi bawah (fl) adalah 2,396 GHz sedangkan nilai frekuensi atas (fu) adalah 2,405 GHz menunjukkan nilai  $VSWR \leq 1,5$  sehingga *bandwidth* diperoleh 9 MHz.

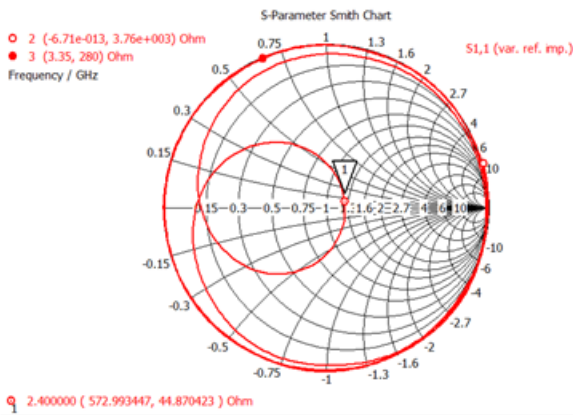


Gambar 5. Hasil Simulasi Return Loss dari Antena Waveguide 6 Slot



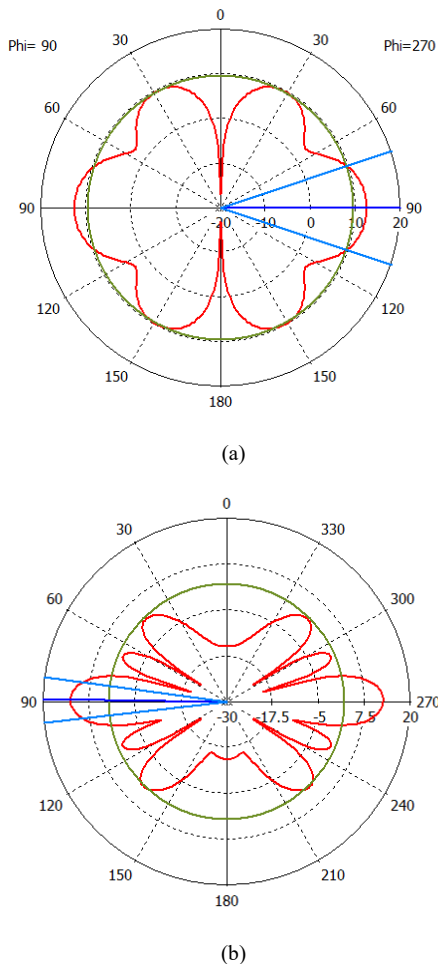
Gambar 6. Hasil Simulasi VSWR dan Bandwidth dari Antena Waveguide 6 Slot

Dari hasil simulasi diperoleh nilai impedansi 44,87 Ohm yang dapat dilihat pada Gambar 7.



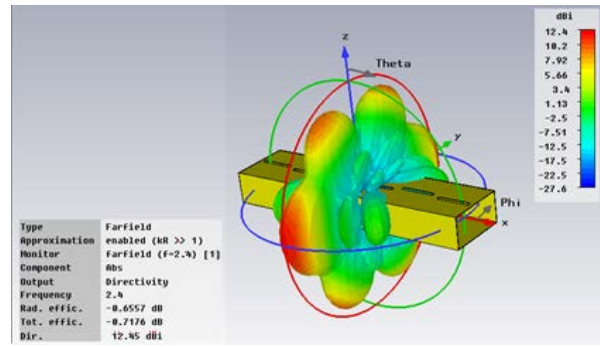
Gambar 7. Hasil Simulasi dari Impedansi Antena Waveguide 6 Slot

Pola Radiasi antenna waveguide 6 slot ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Pola Radiasi Hasil Simulasi Antena Waveguide array 6 slot (a) Pola Radiasi arah Azimuth dan (b) Pola Radiasi Arah Elevasi

Dari Gambar 9 dapat diketahui bahwa pola radiasi antenna adalah omnidireksional dengan gain 12,4 dBi.



Gambar 9. Hasil Simulasi Antena Waveguide 6 Slot Pola Radiasi 3-Dimensi dan Gain Antena

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Realisasi antenna array waveguide 6 slot ditunjukkan pada Gambar 10 dan 11 yang dilihat dari atas dan dari samping.



Gambar 10. Antena Waveguide Array 6 Slot Tampak Atas

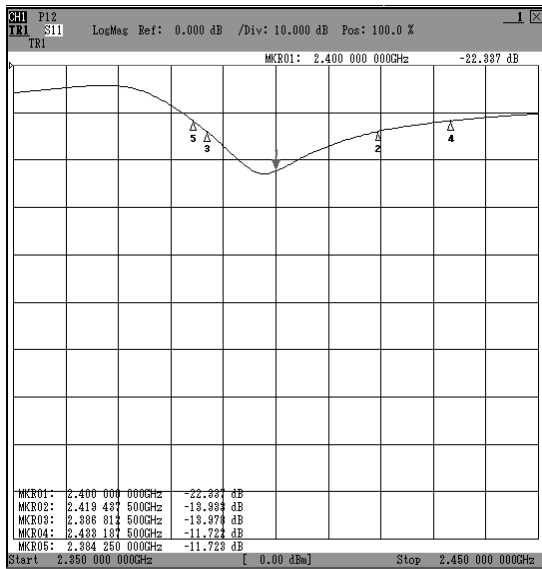


Gambar 11. Antena Waveguide Array 6 Slot Tampak Samping

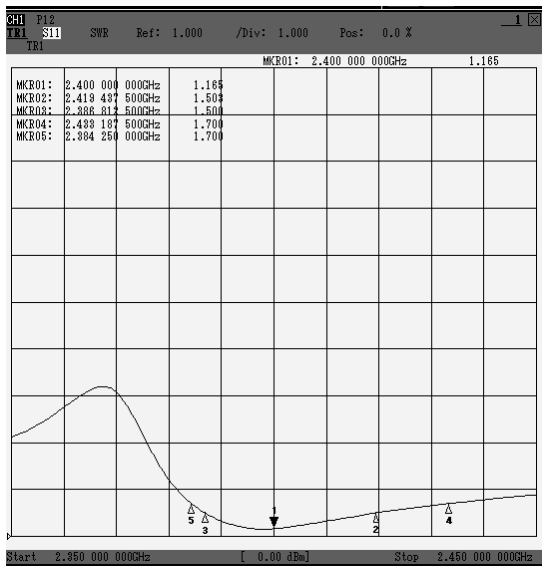
Pengukuran antenna waveguide 6 slot dilakukan dalam rentang frekuensi 2.35 GHz sampai 2.45 GHz pada frekuensi 2.4 GHz diperoleh nilai *return loss* – 22.337 dB dan VSWR yang terukur 1.165. Pada frekuensi bawah 2.386 GHz sedangkan frekuensi atas pada 2.419 GHz diperoleh nilai VSWR ≤ 1.5 sehingga diperoleh *bandwidth* sebesar 33 MHz.

Dan nilai impedansi antenna slot waveguide ini berdasarkan hasil pengukuran diperoleh nilai sebesar (42,923 +j0,656 )Ω.

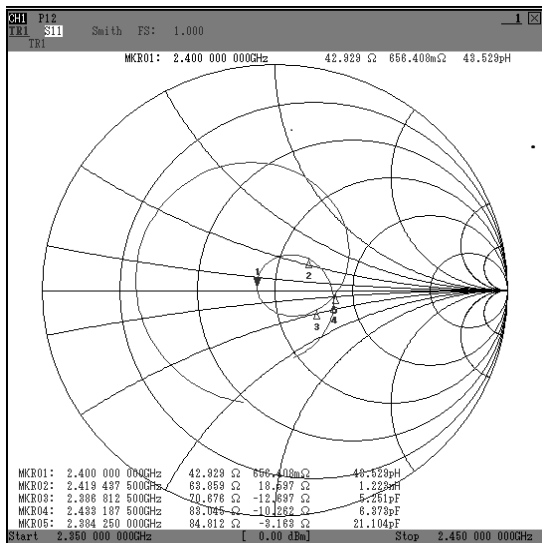
Hasil pengukuran ditunjukkan *return loss*, VSWR dan impedansi ditunjukkan pada Gambar 10, 11, 12.



Gambar 12. Hasil Pengukuran Return Loss dari Antena Waveguide 6 Slot



Gambar 13. Hasil Pengukuran VSWR dari Antena Waveguide 6 Slot



Gambar 14. Hasil Pengukuran Impedansi dari Antena Waveguide 6 Slot

Nilai impedansi pada frekuensi 2,4 GHz adalah 42,329 + j0,656 Ohm. Nilai ini mendekati nilai yang diharapkan yaitu 50 Ohm. Hal ini dapat dikatakan bahwa antenna dapat dihubungkan dengan saluran transmisi 50 Ohm karena nilai impedansi hasil pengukuran tidak berbeda terlalu jauh.

Gain, pola radiasi dan polarisasi antenna diukur pada daerah medan jauh dari antenna seperti yang dijelaskan pada [9][10], karena pada daerah tersebut gelombang elektromagnetik yang terpancar tidak bergantung jarak dari antenna. Rumus medan jauh diberikan pada Persamaan 14.

$$R \approx \frac{2L^2}{\lambda} \tag{14}$$

dimana L adalah dimensi terbesar antenna dan λ adalah panjang gelombang pada frekuensi operasi. L pada antenna slot waveguide ini adalah diagonal dari penampang muka yang panjangnya L = 0.507 m; sedangkan:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{2,4 \times 10^9} = 0,125 \text{ m}$$

$$\text{Medan jauh} = \frac{2L^2}{\lambda} = \frac{2 \times 0,507^2}{0,125} = 4,11 \text{ m}$$

Pengukuran gain dilakukan pada frekuensi 2400 MHz dan diperoleh nilai gain sebesar 4.121 dB.

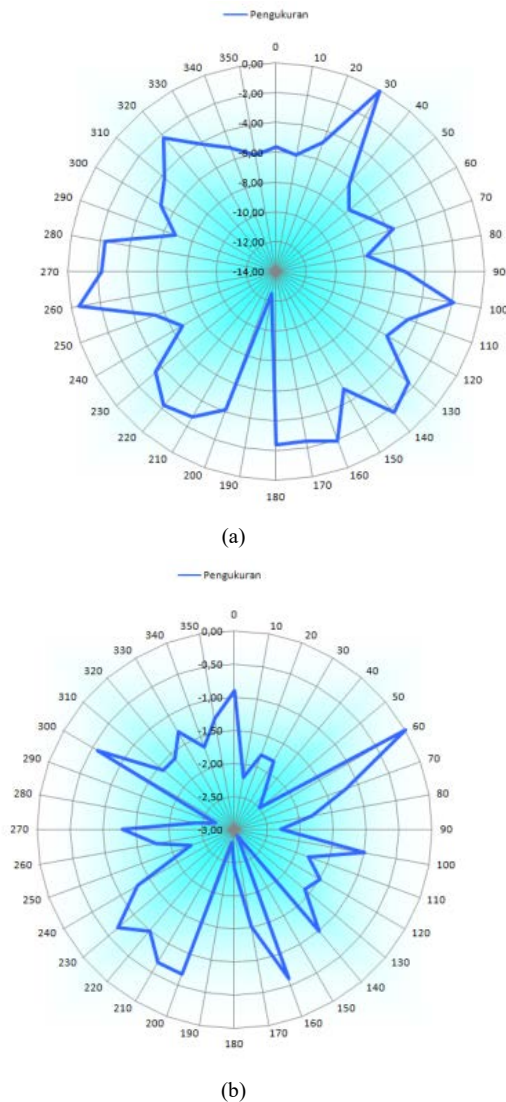
Dari gain antenna hasil pengukuran lebih kecil daripada gain antenna hasil simulasi dengan selisih 8.279 dB. Nilai gain hasil pengukuran adalah 4.121 dBi, nilai ini masih memenuhi spesifikasi awal antenna yaitu ≥ 4,1 dBi. Perbedaan nilai ini dapat disebabkan oleh kesalahan pembacaan level daya akibat fluktuasi yang terjadi di level penerima.

TABEL 1  
HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN  
ANTENA SLOT WAVEGUIDE

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Return loss (frekuensi 2.4 GHz)	-18.494 dB	-22.337dB
VSWR (frekuensi 2.4 GHz).	1.27	1.165
Bandwidth (VSWR ≤1.5)	9 MHz	33 MHz
Impedansi (frekuensi 2.4 GHz)	44.87 ohm	(42.923+j 0.656) Ohm
Gain	12.4 dB	4.121 dB
Pola Radiasi	Omnidireksional	Omnidireksional

Konfigurasi array dari 6 slot ini membentuk pola radiasi yang diinginkan. Energi radiasi antenna slot waveguide dari pencatuan waveguide ke udara (free space) melalui 6 slot yang berbentuk lubang terletak pada dinding waveguide segi empat (rectangular). Dari hasil pengukuran, antenna ini memiliki pola radiasi omnidireksional seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15, sehingga dapat memancar ke segala arah. Antenna memberikan radiasi hampir sama besar pada satu bidang. Selain itu pada bidang elevasinya terdapat sidelobe yang cukup banyak. Efek dari sidelobe ini adalah mempengaruhi gain antenna. Hal ini merupakan salah satu kekurangan tipikal dari antenna slot waveguide. Oleh karena itu pada pemasangannya

biasanya digunakan *absorber* atau reflektor yang dipasang pada antena.



Gambar 15. (a) Hasil Pengukuran Pola Radiasi Arah Azimuth dan (b) Pola Radiasi arah Elevasi dari Antenna Waveguide 6 Slot

## KESIMPULAN

Eksperimen antena *slot waveguide* telah dilakukan realisasi dari desain antena dengan model 6 slot yang berbentuk *array* secara paralel dengan model longitudinal dan terletak pada suatu *waveguide* yang beroperasi pada frekuensi 2.4 GHz. Berdasarkan hasil pengukuran, antena *slot waveguide* memberikan karakteristik dengan  $VSWR \leq 1.5$ , *return loss* -22.337 dB, *gain* 4.121 dB dan pola radiasi omnidireksional.

Berdasarkan hasil eksperimen, maka antena *slot waveguide* tersebut, diestimasikan dapat diaplikasikan pada sistem Wi-Fi maupun sistem komunikasi lain yang memerlukan antena dengan karakteristik seperti antena *slot waveguide* tersebut.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Pusat Penelitian Elektronika Dan Telekomunikasi (PPET) – LIPI yang telah memberikan fasilitas dan dukungan dalam penelitian antena *array slot waveguide*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Samuel Y. Liao, *Microwave Devices And Circuits*, New Jersey : Prentice Hall, 2004.
- [2] D.Pozar, *Microwave Engineering*, 3rd edition, New York : Jhon Wiley & Sons, 2005.
- [3] Paul Wade, (11 April 2011), *Microwave Antenna Book*. [Online]. Available: <http://www.wlghz.org/antbook/contents.htm>.
- [4] Constantine A Balanis, *Modern Antenna Handbook*, A John Wiley & Sons, 2008.
- [5] Sinha, Umesh, *Transmission Lines and Networks*, Satya Prakashan, New Delhi : Tech India Publication Inc, 1977.
- [6] Ivan P.Kaminow and Robert J.Stegen, "Waveguide Slot Array Design", Research and Development Laboratories, Microwave Laboratory, Hughes Aircraft Company, Juli 1954.
- [7] Kuo-Lun Hung, His-Tseng Chou, "A Design of Slotted Waveguide Antenna Array Operated at x-Band", in *Proc. of IEEE International Conference on Wireless Information Technology and Systems (ICWITS)*, 2010.
- [8] John D. Kraus, Ronald J Marhefka, *Antennas for All Application*, New York : Mc. Graw-Hill, 2002.
- [9] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, John Wiley & Sons, INC, 1997 atau th 1982.
- [10] Thomas A. Milligan, *Modern Antenna Design*, Second Edition, A John Wiley & Sons, 2005.