

Desain dan Implementasi Antena Susunan Mikrostrip *Patch* Persegi Panjang Empat Elemen pada 2,3 GHz Menggunakan Teknik Pencatuan dengan Distribusi *Dolph -Tchebyscheff*

Dina Angela^{#1}, Yuyu Wahyu^{*2}, Tony A Porayouw^{#3}

[#]Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Harapan Bangsa

Jln Dipatiukur no.80-84, Bandung, Jawa Barat

¹dina_angela@ithb.ac.id

³tony.porayouw@yahoo.co.id

^{*}Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi

²yuyu@ppet.lipi.go.id

Abstrak— Penelitian ini melakukan perancangan dan realisasi sebuah antena, yang terdiri atas susunan empat mikrostrip *patch* persegi panjang yang dicatu secara seri menggunakan distribusi Dolph-Tchebyscheff. Antena ini dirancang untuk dapat bekerja pada frekuensi 2,3 GHz karena frekuensi tersebut digunakan untuk *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WiMAX) sehingga antena ini dapat digunakan untuk aplikasi WiMAX. Makalah ini menjelaskan proses desain, realisasi, hingga pengukuran. Desain dimulai dengan perhitungan secara teoritis berdasarkan teori desain antena mikrostrip dan teori distribusi Dolph-Tchebyscheff. Kemudian, hasil perhitungan tersebut dioptimalisasi dengan bantuan suatu perangkat lunak desain antena hingga memperoleh karakteristik antena sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Keluaran akhir dari penelitian ini adalah sebuah prototipe antena susunan mikrostrip *patch* persegi panjang empat elemen yang bekerja pada frekuensi 2,3 GHz. Parameter antena, seperti VSWR, polarisasi, pola radiasi, *bandwidth*, dan *gain*, juga diukur. Pada akhir proses penelitian ini, hasil pengukuran dibandingkan dengan hasil perhitungan teoritis dan simulasi.

Kata kunci— antena susunan mikrostrip empat elemen, distribusi Dolph-Tchebyscheff, Wi-MAX

Abstract— *Antenna array consist of four rectangular microstrip patch antennas with serial feeding using Dolph-Tchebyscheff distribution will be design in this research. This antenna works at 2.3 GHz because the frequency is used for Worldwide Interoperability for Microwave Access (WIMAX) so that the antenna can be applied for WIMAX applications. This paper describes the process design, realization, and measurement. The design is started with theoretical calculations based on the theory of microstrip antenna design and theory of Dolph-Tchebyscheff distribution. Then, the results of the calculations are optimized using antenna design software to obtain the antenna characteristics according to the desired specifications. The output of this research is a prototype of rectangular microstrip patch antenna array which can work at 2.3 GHz. The antenna parameters, such as VSWR, polarization, radiation pattern, bandwidth, and gain, are measured.*

At the end of the process, the measurement results are compared with the theoretical calculation and simulation results.

Keywords— *four elements microstrip array antenna, Dolph-Tchebyscheff distribution, Wi-MAX.*

I. PENDAHULUAN

Salah satu elemen penting dalam sistem komunikasi nirkabel adalah antena karena antena sebagai media pelepas gelombang elektromagnetik ke udara atau dengan kata lain antena merupakan transformator, atau berfungsi menerima dan meradiasikan gelombang elektromagnetik.

Berbagai aplikasi telekomunikasi nirkabel memerlukan antena dengan *gain* yang tinggi untuk menjangkau radius yang lebih jauh. Contohnya, teknologi WiMAX yang mampu memberikan layanan data dengan kecepatan hingga 70 Mbps dalam radius 50 km. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan antena dengan *gain* yang tinggi. Salah satu teknik yang dapat dilakukan untuk menaikkan *gain* adalah dengan menyusun antena atau yang dikenal dengan antena susunan (*array antenna*).

Kegiatan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah merancang dan merealisasikan sebuah antena mikrostrip atau antena *patch* untuk aplikasi WiMAX. Antena ini terdiri atas susunan empat buah antena mikrostrip dengan bentuk *patch* persegi panjang atau *rectangular microstrip patch antenna array* untuk dapat bekerja pada frekuensi 2,3 GHz. Antena mikrostrip memiliki banyak keuntungan, diantaranya adalah pembuatannya yang relatif murah, bobot yang ringan serta dimensi yang relatif kecil. Namun antena mikrostrip memiliki kelemahan *gain* yang kecil, sekitar 5 dBi, sehingga dibuatlah antena susunan. Antena susunan ini dicatu secara seri dengan distribusi Dolph-Tchebyscheff. Metode antena susunan dengan distribusi Dolph-Tchebyscheff, atau yang disebut juga dengan distribusi optimum merupakan jenis distribusi yang

baik dalam hal mengurangi *sidelobe* dan *beamwidth* yang lebar [1]. Antena yang dihasilkan oleh penelitian ini diharapkan dapat mencapai *gain* yang lebih besar dari 5 dBi.

II. PERANCANGAN DIMENSI ANTENA

Proses perancangan dimensi antena dan sistem pencatutannya diuraikan sebagai berikut:

A. Perancangan Dimensi Antena

Antena mikrostrip adalah antena yang paling populer saat ini karena antena mikrostrip sangat cocok digunakan untuk perangkat telekomunikasi yang sekarang ini sangat memperhatikan bentuk dan ukuran.

Mikrostrip terdiri atas dua kata, yaitu *micro* yang berarti sangat tipis/kecil dan *strip* yang berarti bilah/potongan. Bagan antena mikrostrip diperlihatkan oleh Gambar 1. Umumnya, antena mikrostrip terdiri atas 3 bagian, yaitu *patch*, *substrat*, dan *groundplane* [1]. Bentuk *patch* dalam Gambar 1 tersebut adalah *rectangular* sehingga dimensinya ditentukan oleh lebar (W), panjang (L) dan tebal (t). Bagian substrat berfungsi sebagai bahan dielektrik yang membatasi elemen peradiasi (*patch*) dengan *groundplane*. Jenis-jenis substrat bervariasi berdasarkan permitivitas bahan dielektrik (ϵ_r) dan ketebalannya (h) [1].

Bahan yang dipilih untuk merealisasikan antena ini adalah FR-4, dengan pertimbangan mudah diperoleh di pasaran, relatif murah, dan *loss* yang kecil. Spesifikasi bahan FR-4 adalah sebagai berikut:

- Permitivitas relatif (ϵ_r): 4,1
- Tebal dielektrik (h): 1,6 mm

Berikutnya adalah menentukan dimensi antena dengan menghitung ukuran *patch* sebagai berikut [1]:

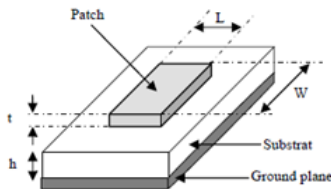
1) Menghitung lebar *patch* (W):

$$W = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = 40,84 \text{ mm} \quad (1)$$

2) Menghitung panjang *patch* (L):

Menghitung L dilakukan dengan terlebih dahulu menghitung ϵ_e (permitivitas efektif) dan $\Delta L/h$, yaitu:

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\left(1 + 12 \frac{h}{W} \right)^{-1/2} + 0,04 \left(1 - \frac{h}{W} \right)^2 \right] = 3,83 \quad (2)$$



Gambar 1. Struktur antena mikrostrip[2]

$$\frac{\Delta L}{h} = 0,412 \frac{(\epsilon_e + 0,3) \left[\frac{W}{h} + 0,264 \right]}{(\epsilon_e - 0,258) \left[\frac{W}{h} + 0,813 \right]} = 0,8 \text{ mm} \quad (3)$$

Maka:

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta L = 31,84 \text{ mm} \quad (4)$$

L_{eff} dapat dihitung dengan

$$L_{\text{ef}} = L = 2\Delta L = 33,44 \text{ mm} \quad (5)$$

B. Perancangan Antena susunan dengan Distribusi *Dolph-Tchebyscheff*

Sifat utama Dolph-Tchebyscheff adalah jika R ditentukan maka lebar berkas akan diminimumkan. Jika lebar berkas ditentukan maka R berharga maksimum [4].

R adalah perbandingan *main lobe* dan *side lobe* (R) yang akan ditetapkan, yaitu sebesar 26 dB [4]. Koefisien eksitasi susunan dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu [4]:

1) Tahap pertama

Menentukan jumlah elemen untuk mendapatkan pola polinom Dolph. Jumlah elemen (n) adalah 4, maka polinom Dolph adalah $T_{4-1}(x) = T_3(x)$. Menurut polinom Dolph $T_3(x) = 4x^2 - 3x$.

2) Tahap kedua

Menentukan X_0 dengan $R = 20$ dan $m = n - 1 = 3$ adalah dengan:

$$X_0 = \frac{1}{2} \left[\left(R + \sqrt{R^2 - 1} \right)^{\frac{1}{m}} + \left(R - \sqrt{R^2 - 1} \right)^{\frac{1}{m}} \right] = 1,855 \quad (6)$$

3) Tahap ketiga

Menentukan medan jauh dari medan listrik total (E_{ne}). Susunan ini adalah susunan genap karena jumlah elemen adalah empat ($n = 4$), maka:

$$E_{ne} = 2 \sum_{k=0}^{\frac{n_e-1}{2}} A_k \cos \left(\frac{2k+1}{2} \psi \right) \quad (7)$$

Jika $n = 4$, maka:

$$E_4 = A_0 \cos \left(\frac{\psi}{2} \right) + A_1 \cos 3 \left(\frac{\psi}{2} \right)$$

Jika $\cos \frac{\psi}{2} = w$ dan $\cos 3 \left(\frac{\psi}{2} \right) = 4w^3 - 3w$, maka

$$E_4(w) = A_0 w + A_1 (4w^3 - 3w) \quad Z_n = \frac{1}{Y_n} \quad (8)$$

$$= A_0 w + 4A_1 w^3 - 3A_1 w$$

4) Tahap keempat

Mencari koefisien eksitasi saluran transmisi, A_0 dan A_1 , sebagai berikut:

$$4x^3 - 3x \equiv 4A_1 w^3 + A_0 w - 3A_1 w$$

$$\equiv 4A_1 w^3 + (A_0 - 3A_1)w$$

A_1 dicari dengan teknik persamaan parsial:

$$4A_1 w^3 \equiv 4x^3$$

$$4A_1 \left(\frac{x}{x_0} \right)^3 \equiv 4x^3$$

$$\frac{4A_1 x^3}{x_0^3} \equiv 4x^3$$

$$\frac{A_1}{1,855^3} \equiv 1$$

$$A_1 = 6,383$$

A_2 dicari dengan cara yang sama:

$$-3x \equiv (A_0 - 3A_1)w$$

$$-3x \equiv (A_0 - 3A_1) \frac{x}{x_0}$$

$$-3x \equiv \frac{(A_0 - 3A_1)}{1,855} x$$

$$-3 \equiv \frac{A_0 - 3A_1}{1,855}$$

$$A_0 - 3A_1 = -5,565$$

$$A_0 = 3A_1 - 5,565$$

Jika $A_1 = 6,383$, maka: $A_0 = 13,584$.

Koefisien eksitasi saluran yang dihasilkan dari perhitungan ini adalah: $A_0 = 13,584$ dan $A_1 = 6,383$. Nilai A_0 dan A_1 tersebut dinormalisasi sehingga menjadi: $A_0 = 2,13$ dan $A_1 = 1$.

Gambar 2 memperlihatkan struktur dari antena susunan hasil dari perhitungan perancangan. Besar impedansi masing-masing saluran mikrostripnya (Z_n), adalah sebagai berikut:

$$Z_4 = 1/Y_4 \text{ maka } Z_4 = 191,7 \Omega$$

$$Z_3 = 1/Y_3 \text{ maka } Z_3/ 3,13 = 61,246 \Omega$$

$$Z_2 = 1/Y_2 \text{ maka } Z_2/ 5,26 = 36,44 \Omega$$

$$Z_1 = 1/Y_1 \text{ maka } Z_1/ 6,26 = 30,623 \Omega$$

Jika diketahui impedansi intrinsik saluran transmisi (Z_{in}) adalah 50Ω , maka impedansi transformator (Z_{tr}) dapat dihitung dengan [1]:

$$Z_{tr} = \sqrt{Z_{in} \cdot Z_1} = 39,13 \Omega \quad (9)$$

Setelah impedansi saluran mikrostrip diketahui, maka dapat dihitung lebar saluran transmisinya (W). Hasil perhitungannya dirangkum dalam Tabel I. Besar faktor antena susunan atau penguatan medan antena (G_{AF}) adalah [2]:

$$G_{AF} = 10 \log \left(\frac{1 + 2,13 + 2,13 + 1}{\sqrt{1 + 2,13^2 + 2,13^2 + 1}} \right) = 2,744 \text{ dB} \quad (10)$$

Penguatan medan antena terhadap satu elemen adalah 5,4885 dB.

C. Simulasi

Simulasi perancangan antena susunan ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak desain antena. Hasil simulasi tersebut dipaparkan sebagai berikut:

1) Dimensi antena

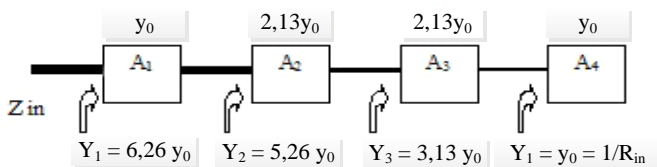
Simulasi membantu mengoptimalkan perancangan. Hasil perancangan secara teoritis dioptimalisasi untuk memperoleh karakteristik antena seperti yang dikehendaki. Ukuran dimensi antena hasil optimalisasi ditunjukkan pada Tabel II. Desain antena hasil simulasi ditunjukkan oleh Gambar 3.

TABEL I. LEBAR SALURAN MIKROSTRIP

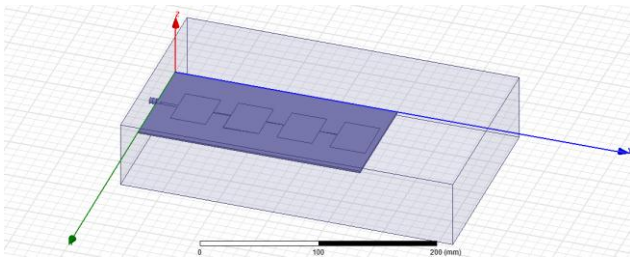
N	$Z_n (\Omega)$	W (mm)
Tr	39,13	2,83
2	36,44	0,94
3	61,246	0,62
4	191,7	0,58

TABEL II. UKURAN DIMENSI ANTENA

Bagian	Ukuran (mm)
Groundplane (P x L)	P = 200 dan L = 100
Patch rectangular	P = 40,84 dan L = 31,84
Panjang saluran transmisi	16,8



Gambar 2. Struktur antena susunan mikrostrip patch persegi panjang empat elemen



Gambar 3. Desain dimensi antena pada simulasi

2) *Gain*

Berdasarkan grafik pada Gambar 4, *gain* antena pada frekuensi 2,3 GHz adalah sebesar 5,2 dB. Hasil simulasi *gain* secara tiga dimensi pada simulasi, sekaligus memperlihatkan pola radiasi, ditunjukkan pada Gambar 5.

3) *Pola radiasi*

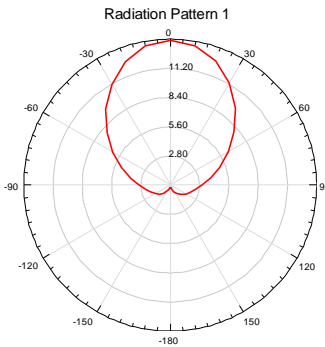
Gambar 6 memperlihatkan puncak dari pola radiasi untuk frekuensi 2,3 GHz pada sudut azimuth puncak 160° dan beamwidth selebar 30°. Sedangkan, pada sudut elevasi puncak 0° dan beamwidth selebar 200°.

4) *VSWR*

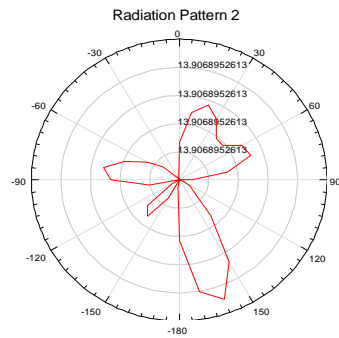
VSWR pada frekuensi 2,3 GHz diperlihatkan pada Gambar 7, yaitu 1,16.

5) *Axial Ratio*

Antena susunan yang dirancang memiliki polarisasi linier karena memiliki *axial ratio* lebih dari 30 dB. *Axial ratio* tersebut ditunjukkan oleh Gambar 8.

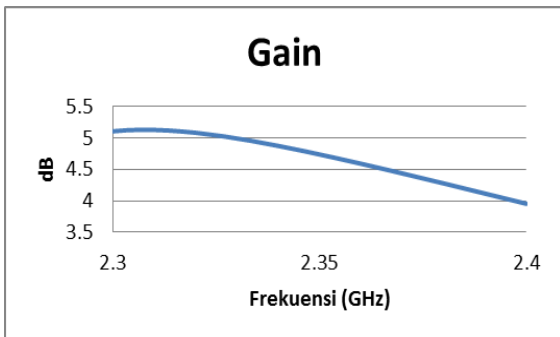


(a)

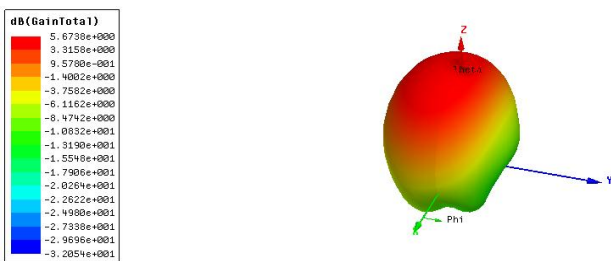


(b)

Gambar 6. Pola radiasi: (a) Elevasi (b) Azimuth



Gambar 4. Grafik *gain* antena



Gambar 5. Hasil simulasi *gain* dalam tiga dimensi

III. REALISASI, PENGUKURAN, DAN ANALISIS

A. *Realisasi Antena*

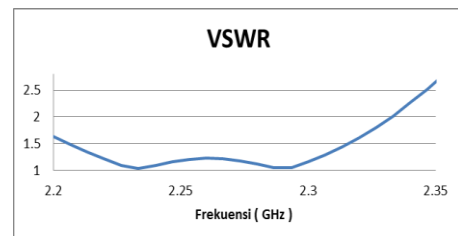
Berikut adalah alat dan bahan yang diperlukan dalam membuat prototipe antena:

- Tembaga dengan ketebalan 0,035 mm yang digunakan sebagai bahan untuk *patch*, saluran transmisi, dan *groundplane*.
- FR-4 dengan ketebalan 1,6 mm dan $\epsilon_r = 4,1$.
- Konektor SMA jenis *female*.

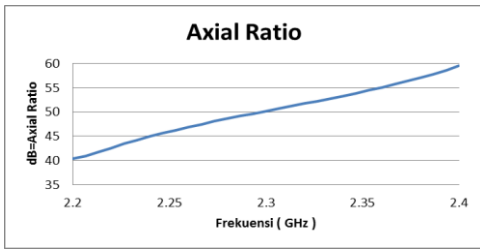
Prototipe antena yang telah direalisasikan dalam penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 9.

B. *Pengukuran Antena Karakteristik Antena*

Pengukuran antena bertujuan untuk mengetahui karakteristik antena yang telah dirancang dan direalisasikan dan kesesuaiannya dengan spesifikasi awal yang telah ditentukan.



Gambar 7. *VSWR* pada simulasi



Gambar 8. Hasil simulasi dari pola radiasi



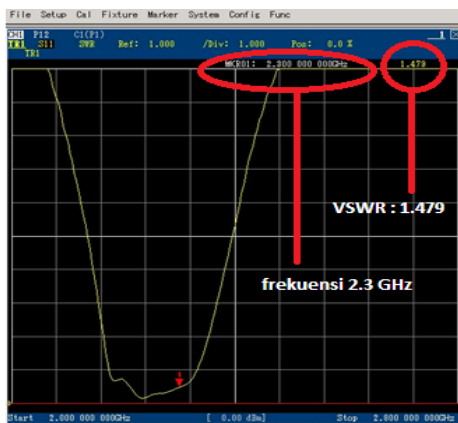
Gambar 9. Prototipe antena susunan *patch rectangular* 4 elemen

1) Pengukuran VSWR

Bandwidth adalah lebar pita yang dihasilkan oleh suatu antena pada frekuensi tertentu. *Bandwidth* diukur agar besar transfer data atau *bit rate* dapat diketahui. Semakin besar *bandwidth*, maka semakin besar pula *bit rate* yang dilewatkan. Kondisi sempurna suatu antena adalah pada saat transfer daya maksimum, yaitu saat impedansi saluran dan impedansi antena berada dalam kondisi *matched* sebesar 50Ω dengan $VSWR = 1$.

Gambar 10 menunjukkan hasil pengukuran terhadap VSWR dan *bandwidth* dengan menggunakan *network analyzer*. VSWR menunjukkan nilai 1,479 pada frekuensi 2,3 GHz. Nilai VSWR lebih besar dari VSWR hasil simulasi, 1,16. Namun, VSWR ini tetap sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, yaitu lebih kecil dari 1,5.

Banyak faktor yang dapat menyebabkan perubahan nilai VSWR pada waktu pengukuran dan simulasi, diantaranya adalah ruangan yang tidak sesuai standar pengukuran yang bebas pantulan.



Gambar 10. Hasil pengukuran SWR

2) Pengukuran Impedansi Input

Pengukuran impedansi *input* bertujuan untuk mengetahui kesesuaian antara antena dengan saluran transmisi yang digunakan. Berdasarkan hasil pengukuran impedansi *input*, diperoleh nilai sebesar $67,676 \Omega$. Hasil simulasi diperoleh $59,345 \Omega$, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 11. Perubahan nilai impedansi pada saat simulasi dan pengukuran bisa disebabkan oleh proses realisasi antena yang kurang teliti, serta letak konektor SMA yang kurang presisi.

3) Pengukuran Bandwidth

Setelah melakukan pengukuran VSWR maka dari nilai tersebut dapat diketahui *bandwidth* antena mikrostrip tersebut pada frekuensi 2,3 GHz, yang dihitung dengan rumus:

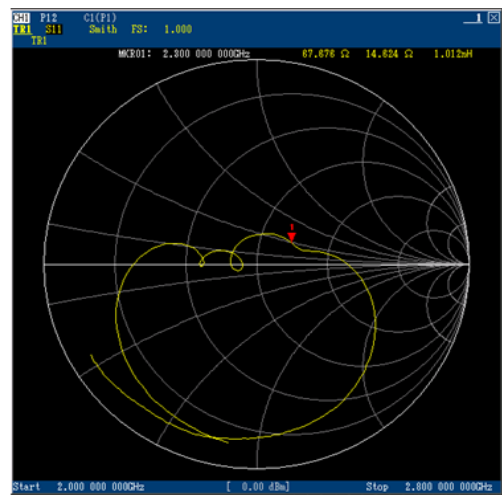
$$\begin{aligned} \text{Bandwidth (BW)} &= f_2 - f_1 \\ &= 2,32 - 2,17 = 150 \text{ MHz} \end{aligned} \quad (11)$$

4) Pengukuran Pola Radiasi

Parameter lain dari antena yang akan diukur adalah pola radiasi. Pengukuran pola radiasi dilakukan dengan melihat sudut azimuth dan sudut elevasi. Berikut adalah perbandingan gambar pola radiasi antara simulasi dan pengukuran antena pada frekuensi 2,3 GHz. Hasil pengukuran pola radiasi ditunjukkan oleh Gambar 12.

5) Pengukuran Polarisasi

Daya terima maksimum (sumbu mayor) yang diukur adalah sebesar $-47,73 \text{ dBm}$ atau $1,99 \times 10^{-5} \text{ Watt}$. Sedangkan, daya terima minimum (sumbu minor) adalah sebesar $-52,92 \text{ dBm}$ atau $5,128 \times 10^{-6} \text{ Watt}$. Perbandingan kuat medan pada sumbu mayor dan sumbu minor dihitung dengan persamaan:



Gambar 11. Hasil pengukuran impedansi

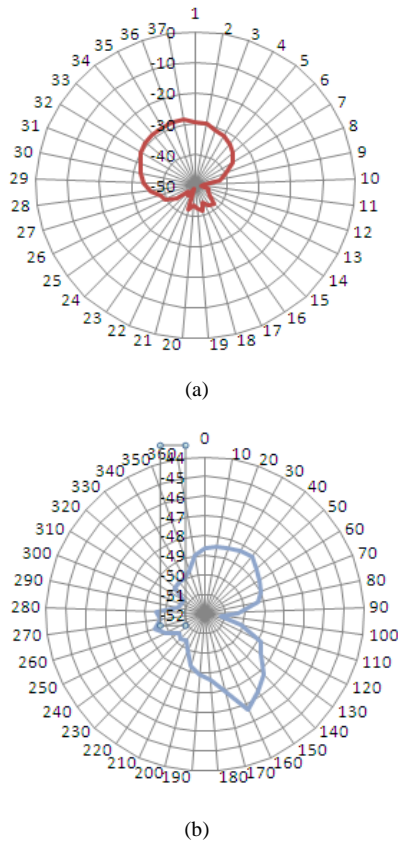
$$\frac{mayor}{minor} = \frac{\sqrt{\frac{P_{watt\ major} \times 377}{A_e}}}{\sqrt{\frac{P_{watt\ minor} \times 377}{A_e}}} \quad (12)$$

$$= \frac{\sqrt{1,99 \times 10^{-5} \times 377}}{\sqrt{5,28 \times 10^{-6} \times 377}} = 19,69 \text{ atau } 12,944 \text{ dB}$$

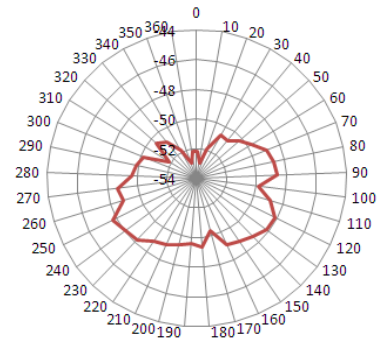
Rasio kuat medan elektrik (numerik) yang diperoleh ternyata lebih besar dari 3, maka antena memiliki polarisasi linier. Hasil ini sesuai dengan polarisasi awal yang diharapkan. Gambar 13 menunjukkan hasil pengukuran terhadap polarisasi antena.

6) Pengukuran Gain

Pengambilan data untuk pengukuran *gain* dilakukan sebanyak lima kali karena adanya fluktuasi daya terima, kemudian diambil nilai rata-ratanya agar hasil yang didapat lebih akurat. Pengambilan data dilakukan pada frekuensi tengah. Pengukuran *gain* ini menggunakan daya pancar (*W*) sebesar 2,14 dBm. Hasil pengukuran *gain* dapat dilihat dari Tabel III.



Gambar 12. Hasil pengukuran pola radiasi: (a) Elevasi (b) Azimuth



Gambar 13. Hasil pengukuran polarisasi

Gain hasil pengukuran adalah 4,59 dBi, sedangkan *gain* hasil simulasi adalah 5,673 dBi. Jadi, *gain* antena hasil pengukuran lebih besar dari hasil simulasi. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh *loss factor* akibat dari polarisasi yang tidak tepat atau berbeda beberapa derajat antara pengirim dan penerima. Selain itu, kondisi pengukuran yang tidak ideal mengakibatkan antena yang diukur mendapat tambahan level daya dari pantulan objek sekitarnya. Berbeda dengan simulasi yang menganggap kondisi saat pengukuran ideal sehingga level daya yang diterima murni dari sumber.

IV. ANALISIS HASIL PERBANDINGAN

A. Matriks Perbandingan

Perbandingan antara hasil simulasi dan pengukuran antena yang dibuat dalam penelitian ini dirangkum dalam Tabel IV. Analisis penyebab terjadinya perbedaan tersebut telah dipaparkan dalam uraian sebelumnya.

TABEL III. HASIL PENGUKURAN *GAIN*

Percobaan ke-	Daya Terima (dBm)	Rata-rata (dBm)	<i>Gain</i> (dBi)
1	19,58	19,184	4,59
2	18,87		
3	19,21		
4	19,37		
5	18,92		

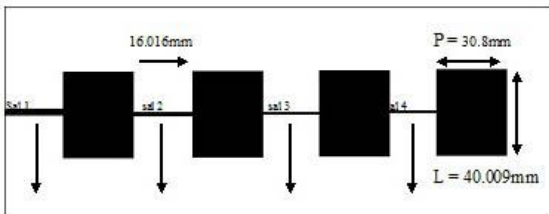
TABEL IV. PERBANDINGAN HASIL PENGUKURAN DAN SIMULASI

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran	Pencapaian Target
VSWR	< 1,5	< 1,5	Tercapai
Impedansi	50 Ω	67,676 Ω	Tidak Tercapai
Pola Radiasi	<i>Uni directional</i>	<i>Uni directional</i>	Tercapai
Polarisasi	linier	linier	Tercapai
<i>Gain</i>	5,673 dBi	4,59 dBi	Tidak tercapai

B. Analisa Perubahan Dimensi Antena

Hasil pengukuran mendapat nilai yang kurang baik, salah satunya adalah nilai VSWR. Hal ini dapat disebabkan oleh pantulan dari benda-benda disekitar area pengukuran, namun perubahan nilai VSWR juga dapat disebabkan oleh perubahan dimensi antena pada saat dilakukan realisasi. Untuk memastikan adanya kesalahan pada waktu realisasi maka dilakukan pengukuran dengan menggunakan *Nikon Profil Projector U-12 B*.

Struktur antena setelah direalisasikan dapat dilihat pada Gambar 14. Hasil perbandingannya dirangkum dalam Tabel V.



Gambar 14. Struktur prototipe antena

TABEL V. PERBANDINGAN PERUBAHAN DIMENSI ANTENA

Perbandingan	Sebelum Realisasi (mm)	Setelah Realisasi (mm)
Panjang <i>patch</i> (P)	40,84	40,8972
Lebar <i>patch</i> (L)	31,84	31,8814
Saltrans-1	16,8 x 2,83	16,827 x 2,913
Saltrans-2	16,8 x 0,98	16,771 x 0,987
Saltrans-3	16,8 x 0,62	16,798 x 0,641
Saltrans-4	16,8 x 0,58	16,785

V. KESIMPULAN

Antena susunan empat elemen yang direalisasikan bekerja pada frekuensi 2,3 GHz memiliki karakteristik:

- VSWR lebih kecil dari 1,5.
- Pola radiasi *unidirectional*.
- Polarisasi antena linier.
- *Gain* yang didapat berdasarkan hasil pengukuran, yaitu sebesar 4,59 dBi pada frekuensi 2,3 GHz. Berbeda dengan hasil simulasi yang diperoleh adalah 5,673 dBi.

REFERENSI

[1] C. A. Balanis, *Antena Theory: Analysis and Design*, 2nd Ed. Chechester: John Wiley, 1997.

[2] Dase, Sulwan, "Antena susunan Mikrostrip Rectangular *Patch* Empat Elemen pada Pita Frekuensi 6 GHz", Tugas Akhir, ITB, Bandung.

[3] J. Bahl, P. Bhartia, and S. S. Stuchly, "Design of Microstrip Antennas Covered with a Dielectric Layer", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol.AP-30, no.2, pp.314-318, March 1982.

[4] Kraus, J. D., *Antennas*. Singapore: McGraw-Hills International Edition, 1988.

Dina Angela, lahir pada tahun 1974 di Bandung, menerima gelar Sarjana Teknik dari Universitas Kristen Maranatha Bandung Jurusan Teknik Elektro pada tahun 1999, dan gelar Magister Teknik dari ITB Jurusan Teknik Elektro pilihan Sistem Informasi Telekomunikasi pada tahun 2003. Saat ini aktif sebagai pengajar di Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Harapan Bangsa di Bandung. Minat penelitian pada Sistem Komunikasi, Antena dan Propagasi.

Yuyu Wahyu, lahir pada tahun 1962 di Bandung, menerima gelar Sarjana Teknik dari Institut Teknologi Bandung Jurusan Teknik Fisika pada tahun 1990, dan gelar magister teknik dari Institut Teknologi Bandung, Jurusan Teknik Elektro pilihan Sistem Informasi Telekomunikasi pada tahun 2000 dan gelar Doktor dari Institut Teknologi Bandung pada tahun 2010. Saat ini menjabat sebagai Kabid Sarana Penelitian PPET-LIPI. Minat penelitian pada Sistem Radar, Antena dan Propagasi, dan TV digital.

Tony Porayauw, mahasiswa Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Harapan Bangsa angkatan 2007.