

Antena Array 4 Patch Mikrostrip Sirkular Pada Frekuensi 2300-2400 MHz

Sri Hardiati*, Yuyu Wahyu*, Folin Oktafiani*,
*)Peneliti Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET-LIPI)
Jl. Sangkuriang Bandung 40135
e-mail:ash_egt@yahoo.com

Abstrak

Pada makalah ini, dirancang dan direalisasikan antena array mikrostrip sirkular pada frekuensi 2300 MHz – 2400 MHz untuk mendukung teknologi WiMAX, dengan menghitung dimensi antena secara teori dan kemudian menggunakan *software* Ansoft HFSS 9.2 sebagai alat simulasi, sebelum melakukan fabrikasi. Perancangan antena yang diperoleh dari hasil simulasi difabrikasi sesuai dengan spesifikasi rancangan antena dengan menggunakan PCB yang mempunyai ketebalan substrat 1,6 mm dan desain antena ini berbentuk patch mikrostrip sirkular dengan model patch array yang bertujuan untuk meningkatkan gain antena.

Kata kunci : Antena mikrostrip , circular patch, Antena Array dan WiMAX

Abstract

In this paper will be discussed design and realization a circular microstrip array antenna frequency 2300-2400 MHz for WiMAX application, with the calculating antenna theoretically and then applies software Ansoft HFSS 9.2 as a means of simulation before doing fabrication. Antenna design resulted from the simulation is fabricated appropriate with specification design and using PCB material with the thick of substrat is 1,6 mm and this antenna design is circular patch microstrip with patch array mode to increase antenne gain.

Key word : Microstrip antenna, Circular patch, Array Antena and WIMAX

1. Pendahuluan

Teknologi WiMAX merupakan teknologi *wireless* yang sedang berkembang pada saat ini, yang disediakan untuk layanan internet dengan kecepatan tinggi. Teknologi ini diimplementasikan untuk mengatasi penggunaan komunikasi dengan media kabel dan mempunyai jangkauan wilayah yang luas dibandingkan dengan WLAN. WiMAX memiliki frekuensi operasi yang berbeda-beda, yang disesuaikan dengan pengaturan frekuensi dari setiap negara. Menurut frekuensi berlisensi direncanakan spektrum frekuensi WiMAX operasinya pada (2,305-2,320) GHz, (2,345-2,360) GHz dan (3,300-3,400) GHz.

Pada teknologi WiMAX, antena berperan penting dalam penerimaan dan pengiriman informasi, yaitu sebagai transformator gelombang elektromagnetik dari dan ke udara. Pada makalah ini dikembangkan antena mikrostrip patch sirkular yang dikenal artistik dan mempunyai beberapa keuntungan, terutama antena tersebut dapat adaptasi untuk semua aplikasi dalam sistem. Antena jenis mikrostrip patch sirkular ini diharapkan dapat diterapkan untuk mendukung sistem WiMAX terdiri dari 4 patch mikrostrip sirkular yang disusun secara array dan bekerja pada frekuensi 2,3 – 2,4 GHz menghasilkan Gain ≥ 5 dBi.

2. Diskripsi Antena mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena yang berbentuk papan tipis dan mampu bekerja pada frekuensi yang sangat tinggi. Antena mikrostrip dibuat dengan menggunakan sebuah substrat yang mempunyai tiga buah lapisan struktur dari substrat tersebut. Lapisan-lapisan pada substrat :Patch, dielektrik, groundplane

Pola-pola dalam lapisan mikrostrip yang utama biasa disebut *patch*, yang memiliki bentuk geometris

sederhana, misalkan sirkular, persegi panjang, segitiga atau bentuk lain

Antena mikrostrip mempunyai kelebihan dan kekurangan, diantaranya:

1. Kelebihan antena mikrostrip:
 - Memiliki ukuran yang kecil dan ringan
 - Mudah dalam pembuatannya
 - Dapat beroperasi pada single ataupun dual band
 - Dapat dibuat untuk dual atau triple frekuensi
2. Kekurangan antena mikrostrip :
 - *Bandwidth* yang sempit
 - Memiliki gain yang kecil untuk satu patch

Karakteristik radiasi antena kebanyakan dilakukan pada daerah medan jauh antena. Pada daerah ini, perhitungannya berasal dari perkalian dua bagian. Bagian pertama adalah jarak antena dari titik observasi (daerah penerima) dan bagian lainnya adalah koordinat bola dengan bantuan sudut θ dan ϕ . Distribusi angular medan berdiri sendiri pada jarak r . Medan jauh elektrik secara matematis adalah:

$$E_n(r) \cong -j\omega\mu \frac{e^{-j\beta r}}{4\pi r} f_n(\theta, \phi) \quad (2.1)$$

Vektor $f_n(\theta, \phi)$ menunjukkan karakteristik direksional medan elektrik dari elemen ke-n, secara rumus :

$$f_n(\theta, \phi) = (\hat{\theta}\hat{\theta} + \hat{\phi}\hat{\phi}) \cdot \int_{element} J_n(r'_n) e^{j\beta \hat{r} \cdot (r_n - r'_n)} dv' \quad (2.2)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} J_n(r'_n) &= \text{elektrik pada elemen ke-n} \\ r'_n &= \text{jarak antena ke pusat koordinat} \\ r &= \text{jarak dari titik observasi ke pusat koordinat} \\ \beta &= \frac{2\pi}{\lambda} \end{aligned}$$

ω = frekuensi fasa
 μ = permeabilitas bahan

Dalam rumus (2-1), $f_n(\theta, \phi)$ dapat dinyatakan seperti

rumus berikut :

$$f_n(\theta, \phi) = I_n f(\theta, \phi) \quad (2.3)$$

Dari perkalian rumus (2-1) (2-2) (2-5) dihasilkan suatu persamaan berikut:

$$E(r) = -j\omega\mu \frac{e^{-j\beta r}}{4\pi r} \times f(\theta, \phi) \sum_{n=1}^N I_n e^{j\beta r_n \cos \xi_n} \quad (2.4)$$

$$f_n(\theta, \phi)$$

Selanjutnya untuk rumus Array Factor adalah:

$$AF(\theta, \phi) = \sum_{n=1}^N I_n e^{j\beta r_n \cos \xi_n} \quad (2.5)$$

AF (θ, ϕ) disebut sebagai array factor, Faktor ini adalah pola dari susunan N isotropis terhadap satu titik referensi. Dari rumus (2-4) dan (2-5), dapat dihasilkan suatu rumus :

$$E(r) = -j\omega\mu \frac{e^{-j\beta r}}{4\pi r} f(\theta, \phi) AF(\theta, \phi) \quad (2.6)$$

Dari rumus diatas dapat dinyatakan prinsip perkalian medan adalah medan elemen antenna array yang identik diperoleh dari perkalian medan antenna array tersebut dengan array factor.

Antena mikrostrip sirkular merupakan antenna mikrostrip bentuk lain yang telah banyak digunakan. Pada perancangan antenna parameter yang dibutuhkan adalah jari-jari antenna.

Frekuensi cutoff mode TM pada bumbung gelombang memberikan frekuensi resonansi pada antenna mikrostrip dengan tempelan sirkular seperti yang diberikan oleh persamaan :

$$f_{nm} = \frac{X'_{nm} c}{2\pi a_e \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.7)$$

dimana $X'_{nm} = x_{nm}$ adalah akar turunan fungsi Bessel $J_n(x)$ pada orde n, f_{nm} merupakan frekuensi kerja pada mode TM_{nm} dengan m dan n adalah mode propagasi yang digunakan, a_e merupakan jari-jari efektif antenna, ϵ_r adalah permitivitas bahan dielektrik. Selanjutnya untuk menghitung lingkaran mikrostrip antenna menggunakan persamaan berikut:

$$a_e = a \left[1 + \frac{2h}{\pi a \epsilon_r} \left(\ln \frac{\pi a}{2h} + 1,7726 \right) \right]^{1/2} \quad (2.8)$$

dimana a adalah jari-jari fisik patch antenna dan h adalah ketebalan substrat dielektrik yang digunakan. Dalam perancangan, ukuran yang digunakan untuk jari-jari patch adalah a yang merupakan jari-jari fisik antenna.

Penggabungan rumus (2.7) dan (2.8) untuk memperoleh jari-jari guna menghasilkan frekuensi resonansi yang lebih teliti, yaitu:

$$a_e = \frac{X'_{nm} c}{2\pi f_{nm} \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.9)$$

X'_{nm} adalah akar-akar dari $J'_n(x)=0$, c adalah kecepatan cahaya= 3×10^8 m/s. Sehingga a dan a_e akan hampir sama, dengan penurunan dari persamaan (2.10) akan diperoleh a, jari-jari fisik mikrostrip sirkular :

$$a = \frac{a_e}{\left\{ 1 + \frac{2h}{\pi a \epsilon_r} \left[\ln \left(\frac{\pi a}{2h} \right) + 1,7726 \right] \right\}^{1/2}} \quad (2.10)$$

Pencatutan antenna merupakan suatu hal yang sangat penting dalam teknik merancang antenna. Pencatutan antenna akan berpengaruh pada karakteristik-karakteristik yang akan dihasilkan antenna tersebut. Teknik pencatutan antenna pada mikrostrip ada tiga macam, yaitu dengan probe coaxial, *electromagnetically coupling*, dan menggunakan saluran mikrostrip.

3. Desain dan Simulasi Antena patch mikrostrip sirkular.

3.1 Desain Antena.

Desain Antena Patch mikrostrip sirkular dalam makalah ini untuk pengoperasian pada frekuensi 2300-2400 MHz. Antena ini menggunakan bahan substrat yaitu epoxy FR₄, dengan tebal 1,6 mm, $\epsilon_r = 4,4$ dan dielectric loss tangent ($\tan \delta$) = 0,019. Parameter-parameter dalam spesifikasi teknik dari desain antenna patch mikrostrip sirkular direncanakan sbb :

- Bentuk Antena : Patch sirkular.
- Frekuensi : 2300 MHz- 2400 MHz
- Impedansi : 50 Ω (koaksial)
- VSWR : $\leq 1,3$
- Pola radiasi : *unidirectional*
- Polarisasi : linier
- Gain : ≥ 5 dBi
- Metode Pencatutan: Saluran mikrostrip.

Antena mikrostrip ini berbentuk Patch sirkular yang terdiri dari 4 Patch dan disusun secara array linier. Desain antenna dimulai dengan menghitung jari-jari fisik dari disk (sirkular) mikrostrip. Langkah pertama menggunakan rumus 2.7 dan menggunakan mode TM terendah yaitu TM_{11} dengan melihat table Bessel :

Tabel 3.1 Akar fungsi Bessel mode TM_{nm}

n	m			
	0	1	2	3
1	3.832	1.841	3.054	4.201
2	7.016	5.331	6.706	8.015

$$f_{nm} = \frac{X'_{nm} c}{2\pi a_e \sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.1)$$

f_{nm} sama dengan frekuensi resonansi yang telah ditentukan, maka :

$$fr = \frac{X'_{11} c}{2\pi a_e \sqrt{\epsilon_r}} = fr = \frac{1,841 \times 3 \times 10^8}{2\pi a_e \sqrt{\epsilon_r}} = fr = \frac{0,8791 \times 10^9}{a_e \sqrt{\epsilon_r}}$$

$$a_e = \frac{8,791 \times 10^9}{fr \sqrt{\epsilon_r}}$$

a_e dan a akan hampir sama, sehingga dapat dibuat suatu variabel baru misalkan k . Secara matematis dapat ditulis menjadi :

$$k = \frac{8,791 \times 10^9}{fr \sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.2)$$

Maka untuk mempermudah perhitungan jari-jari fisik lingkaran rumus diatas disubstitusikan ke dalam rumus (2.10) sehingga :

$$a = \frac{k}{\left\{ 1 + \frac{2h}{\pi F \epsilon_r} \left[\ln \left(\frac{\pi k}{2h} \right) + 1,7726 \right] \right\}^{0,5}} \quad (3.3)$$

Keterangan :

a : jari-jari patch antenna
 h : tebal dielektrik (mm)
 k : variable pengganti karena a_e dan a dianggap sama

ϵ_r : nilai permitivitas

Tebal dielektrik yang digunakan 1,6 mm dengan nilai permitivitas 4,4. Untuk memperoleh nilai k , digunakan rumus :

$$k = \frac{8,791 \times 10^9}{fr \sqrt{\epsilon_r}}$$

$$k = \frac{8,791 \times 10^9}{fr \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{8,791 \times 10^9}{2,35 \times 10^9 \sqrt{4,4}} = 1,783$$

Setelah diperoleh nilai k , kemudian dimasukkan ke dalam rumus 3.1 dan diperoleh hasil :

$$a = \frac{k}{\left\{ 1 + \left(\frac{2h}{\pi \epsilon_r} k \right) \left[\ln \left(\frac{\pi k}{2h} \right) + 1,7726 \right] \right\}^{0,5}}$$

$$= \frac{1,783}{\left\{ 1 + \left(\frac{2 \cdot 1,6}{\pi \cdot 4,4} \cdot 1,783 \right) \left[\ln \left(\frac{\pi \cdot 1,783}{2 \cdot 1,6} \right) + 1,7726 \right] \right\}^{0,5}}$$

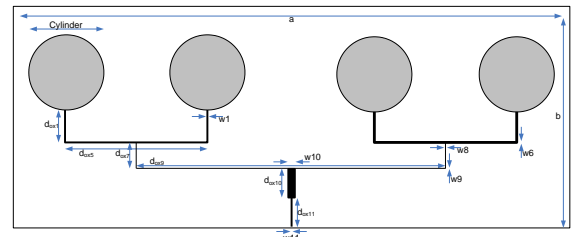
$$= \frac{1,783}{1,3} = 1,37 \text{ cm} = 13,7 \text{ mm}$$

Pada perancangan antenna array mikrostrip sirkular ini menggunakan jari-jari $a = 13,7$ mm dan saluran mikrostrip berfungsi sebagai penyepadan antar patch sirkular dengan catuan konektor 50 Ω . Dalam makalah ini, metoda penyepadan yang digunakan adalah transformator $\lambda/4$ untuk menghubungkan antara konektor dengan saluran mikrostrip pada antenna. Impedansi karakteristik saluran mikrostrip adalah fungsi dari lebar saluran strip, tebal saluran dan konstanta dielektrik bahan substrat yang digunakan. Pada makalah ini, tiap elemen dihubungkan oleh saluran strip dengan panjang dan lebar

tertentu, dimana penentuan panjang dan lebarnya disesuaikan dengan nilai yang mendekati hasil simulasi yang terbaik. Tiap elemen patch sirkular memiliki jarak $\lambda/2$ atau kelipatannya, sehingga saluran strip (d_{ox5}) yang menghubungkan antar dua elemen memiliki nilai impedansi $Z_{in} = Z_L$. Nilai impedansi di titik percabangan antar d_{ox8}, d_{ox9} dan d_{ox10} sebesar $1/2 Z_L$. Untuk ukuran d_{ox7} adalah panjang 8,2 mm dan lebar 0,4 mm. Pematcingan transformator $\lambda/4$ berada pada d_{ox10} dan d_{ox11} dengan perolehan ukuran d_{ox10} adalah 11 mm dengan lebar 1,7 dan ukuran d_{ox11} adalah 15,2 dengan lebar 0,7 mm.

3.2 Simulasi Antena

Pada makalah ini antenna dirancang dengan menggunakan simulasi sebagai acuan untuk membuat dimensi prototype antenna dengan software yang digunakan adalah Ansoft HFSS 9.2. Simulator ini dipakai untuk merancang dan memodifikasi setiap ukuran dimensi antenna. Metoda analisis yang digunakan adalah *finite element method* (FEM) karena metode ini sangat cocok untuk dikembangkan pada antenna dengan volumetrik padat.



Gambar 3-1
Desain Antena array 4 Patch mikrostrip Sirkular

Setelah melakukan beberapa percobaan, dengan memasukkan beberapa parameter yang telah ditentukan sebelumnya yaitu jari-jari patch lingkaran 13.7 mm dan panjang saluran mikrostrip $\lambda/4$ kemudian didapat ukuran dimensi yang hasilnya sesuai dengan spesifikasi.

Tabel 3.2 Dimensi Antena Hasil Simulasi

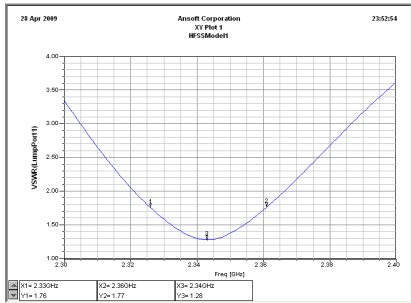
Komponen	Hasil Simulasi
cylinder	27,4 mm
d_{ox1}	15,2 mm
d_{ox5}	61 mm
d_{ox7}	8,2 mm
d_{ox9}	128,4 mm
d_{ox10}	11 mm
d_{ox11}	15,2 mm
W_1	1 mm
W_6	0,6 mm
W_8	0,4 mm
W_9	0,4 mm
W_{10}	1,7 mm
W_{11}	0,7 mm
a (groundplane)	250 mm

b	96 mm
---	-------

Hasil Simulasi

Setelah dilakukan proses simulasi, maka diperoleh hasil sebagai berikut :

3.2.1 SWR dan Bandwidth

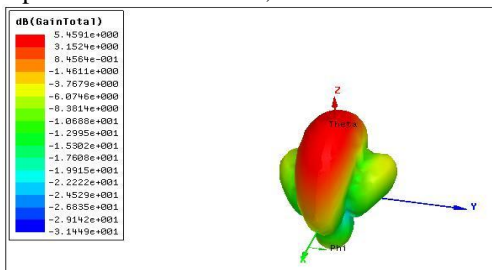


Gambar 3.2 VSWR dan bandwidth

Hasil simulasi menunjukkan bahwa $VSWR \leq 1,8$ memiliki bandwidth 35,06 MHz dengan daerah frekuensi 2326 MHz-2361 MHz.

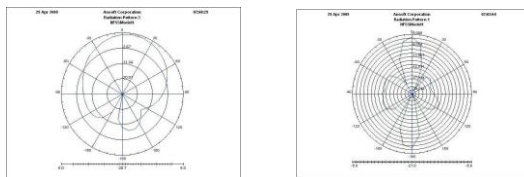
3.2.2 Gain

Pada gambar dibawah ini, dapat dilihat bahwa gain antenna pada simulasi adalah 5,46 dBi.



Gambar 3.3 Direktivitas Hasil Simulasi

3.2.3 Pola Radiasi



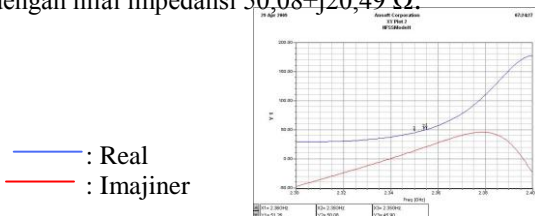
Gambar 3.4

(a) Bidang XZ (b) Bidang XY

Pola radiasi antenna adalah unidireksional.

3.2.4 Impedansi

Nilai impedansi antenna simulasi pada frekuensi 2350 adalah $45,90 + j15,02 \Omega$, sedangkan untuk impedansi yang mendekati 50Ω berada pada frekuensi 2354 MHz dengan nilai impedansi $50,08 + j20,49 \Omega$.

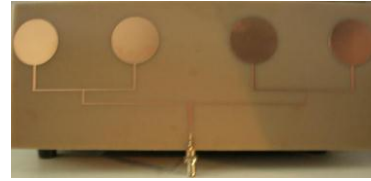


— : Real
— : Imaginer

Gambar 3.5 Impedansi Antena Hasil Simulasi

4. Realisasi desain antenna

Hasil perhitungan dan hasil simulasi antenna array mikrostrip sirkular direalisasikan dengan proses photoetching. Prototipe antenna array 4 patch mikrostrip sirkular dengan ukuran dimensi substrat mengikuti ukuran dimensi *groundplane* yaitu 250x96 mm, dapat dilihat seperti dalam gambar : 4-1



Gambar 4-1 Prototipe Antena Susunan Mikrostrip Lingkaran

Dalam antenna mikrostrip, penyimpangan dalam orde millimeter akan sangat mempengaruhi sifat karakteristik secara umum, sehingga didalam proses fabrikasi antenna harus memiliki tingkat keakuratan dan ketelitian yang sangat tinggi. Pengukuran dimensi fisik antenna array mikrostrip lingkaran ini dilakukan di Laboratorium Mikroelektronika LIPI Bandung. Alat yang digunakan adalah *Profile Projector (Nikon V-12B)*. Alat ini memiliki tingkat ketelitian sampai orde millimeter.

5. Pengukuran dan Analisis Hasil Pengukuran

5.1 Pengukuran VSWR, Bandwidth dan Impedansi Antena

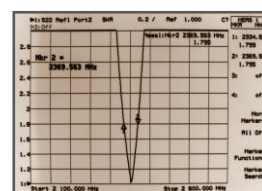
Pengukuran VSWR dilakukan untuk mengetahui nilai gelombang berdiri yang disebabkan oleh sinyal pantul yang terjadi. Semakin besar nilai VSWR, maka semakin besar pula gelombang dipantulkan kembali ke *transmitter*. Nilai VSWR harus sesuai dengan ambang batas dari perangkat yang digunakan. Pada makalah ini nilai VSWR yang diharapkan tidak lebih dari 1,8.

5.2. Hasil Pengukuran VSWR, Bandwidth dan Impedansi

Pengukuran yang dilakukan dengan *Network Analyzer* dilakukan dengan rentang frekuensi 2 GHz sampai dengan 3 GHz. Berikut adalah gambar hasil pengukuran yang didapat seperti gambar 5-1.

Untuk gambar 5-1 adalah hasil pengukuran VSWR prototipe antenna dengan dimensi sesuai dengan dimensi antenna simulasi. Hasil pengukuran menunjukkan seperti pada tabel 5-1.

1. VSWR dan Bandwidth



Gambar 5.1 Hasil pengukuran VSWR antenna prototype.

Tabel 5-1 Hasil Pengukuran VSWR dan Bandwidth

VSWR	Rentang Frekuensi (MHz)	Bandwidth (MHz)
≤ 1.8	2334,50-2369,56	35,06
≤ 1.7	2336,66-2367,89	31,23
≤ 1.5	2340,83-2364,22	23,39
≤ 1.3	2345,16-2360,33	15,17

1. Impedansi

Hasil pengukuran menunjukkan impedansi mendekati 50 Ω pada frekuensi 2364,23 MHz dan untuk frekuensi center menunjukkan besar impedansi (51,13 – j 203) Ω



Gambar 5-2 Hasil pengukuran impedansi prototipe antenna.

5.3 Pengukuran Pola Radiasi

Pola radiasi antenna diukur pada daerah medan jauh antenna, karena pada daerah tersebut gelombang elektromagnetik yang terpancar tidak bergantung jarak dari antenna. Nilai medan jauh dapat dihitung melalui

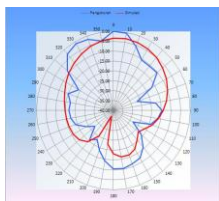
persamaan $R \geq \frac{2L^2}{\lambda}$ dengan L adalah dimensi terbesar

dari antenna dan λ adalah panjang gelombang. L dari antenna array mikrostrip sirkular ini adalah diagonal dari groundplane yang panjangnya= 26.93 cm, sedangkan $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{2,35 \times 10^9} = 0,127 \text{ m}$.

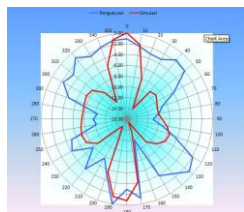
Medan jauh antenna = $\lambda = \frac{2 \times 26,93^2}{0,127} = 1,14 \text{ m}$. Jadi R ≥ 1,14 m Pada saat pengukuran jarak yang digunakan adalah R = 1,5 m.

5.4 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena

Setelah diperoleh level daya terima antenna yang dicatat dan kemudian diolah dengan menggunakan software Excel, maka diperolehlah plot pola pancar dengan bentuk 2D sebagai berikut :



5-3 a



5-3b

Gambar 5.3 Hasil pengukuran polaradiasi (grafik berwarna biru adalah hasil plot pengukuran prototipe sedangkan grafik berwarna merah adalah hasil plot pengukuran dari simulasi ansoft)

a Azimuth pengukuran b Elevasi pengukuran

5.5. Pengukuran Gain

Gain merupakan perbandingan antara intensitas radiasi maksimum suatu antenna terhadap intensitas radiasi maksimum antenna referensi dengan level daya input yang sama.

5.6. Hasil Pengukuran Gain Antena

Pengukuran gain dilakukan pada frekuensi 2350 MHz dengan pengambilan data dilakukan sebanyak 10 kali hasil yang didapat lebih akurat.

Tabel 5-2 Hasil Pengukuran Gain

	Daya Terima Max AUT (dBm)	Daya Terima Max Referensi (dBm)
1	-31,17	-35,00
2	-31,00	-35,50
3	-31,17	-35,33
4	-31,33	-34,83
5	-31,17	-34,67
6	-31,50	-34,33
7	-31,00	-34,67
8	-31,83	-35,17
9	-31,17	-35,00
10	-31,33	-34,33
Average	-31,267	-34,833
Gain (dBi)	5,756	

Dari tabel di atas bisa diketahui nilai gain AUT (Antenna Under Test) susunan mikrostrip sirkular dengan menggunakan rumus 5-1 adalah 5,756 dBi.

$G_{(dBi)} = (P_{A(dBm)} - P_{REF(DBm)} + 2,14) \text{ dBi}$. (5-1)

G adalah Gain Antena yang diukur, P_A adalah Level daya yang diterima Antena yang diukur. P_{REF} adalah level daya terima antenna referensi.

6. Analisis Hasil Pengukuran

6.1 Analisis Hasil Pengukuran Dimensi Antena

Dari hasil pengukuran dimensi fisik antenna dapat dilihat adanya perubahan ukuran antara antenna fabrikasi dengan ukuran desain dalam simulasi. Penyimpangan yang terjadi berkisar antara 0.003 mm sampai dengan 0.165 mm dari ukuran desainnya. Penyimpangan ukuran antenna fabrikasi dapat menyebabkan perubahan beberapa parameter antenna seperti pergeseran frekuensi resonan, impedansi dan koefisien pantul hasil pengukuran dengan hasil simulasi.

6.2 Analisis Hasil Pengukuran VSWR, Bandwidth, dan Impedansi Antena

Dari hasil pengukuran VSWR $\leq 1,8$ diketahui koefisien pantul adalah 0,286 dengan daya dipantulkan sebesar 8,18 % dan daya yang ditransmisikan sebesar 91,82 %. Dari perhitungan matematis tersebut, didapatkan daya yang ditransmisikan cukup besar, sehingga masih baik jika digunakan dalam batasan VSWR tersebut.

Untuk batasan VSWR $\leq 1,8$ diperoleh bandwidth sebesar 35,06 MHz. Jika dibandingkan dengan nilai bandwidth pada spesifikasi awal sebesar 100 MHz, maka bandwidth hasil pengukuran kurang memenuhi spesifikasi. Hal ini disebabkan karena antena mikrostrip memiliki bandwidth yang sempit.

Tabel 6-1 Perbandingan VSWR Pengukuran dan Simulasi.

VSWR	Simulasi		Pengukuran	
	Rentang Frekuensi (MHz)	Bandwidth (MHz)	Rentang Frekuensi (MHz)	Bandwidth (MHz)
≤ 1.8	2326-2361	35	2334,50-2369,56	35,06
≤ 1.5	2333-2353	20	2340,83-2364,22	23,29
≤ 1.3	2340-2346	6	2345,16-2360,33	15,17

Tabel 6-2 Perbandingan Impedansi Simulasi dan Pengukuran

2350 MHz	Impedansi (Ω)
Simulasi	$45,90 + j15,02$
Pengukuran	$51,13 - j1,2030$

Dari tabel 6-2 dapat dilihat bahwa nilai impedansi antena mendekati nilai impedansi pada spesifikasi awal yaitu 50 Ω .

6.3 Analisis Hasil Pengukuran Gain

Setelah dilakukan pengukuran gain antena pada jarak medan jauh, maka perbandingan gain antara antena fabrikasi dengan antena simulasi dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 6-3 Perbandingan Gain Pengukuran dengan Simulasi

Gain Pengukuran	Gain Simulasi
5,756 dBi	5,46 dBi

Dari tabel diketahui bahwa hasil pengukuran gain antena fabrikasi lebih besar dari pada gain antena simulasi. Hal ini disebabkan oleh kondisi pengukuran yang tidak ideal, sehingga antena yang diukur mendapat

tambahan level daya dari pantulan objek sekitarnya. Selain itu, antena mikrostrip memiliki gain yang rendah.

7. Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan perealisasi antena array mikrostrip sirkular yang telah dibuat, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Bandwidth yang diperoleh dalam pembuatan antena ini mencukupi frekuensi untuk aplikasi WiMAX. Dan Antena ini direncanakan untuk aplikasi user yang fix (tidak bergerak) yang dikenal dengan CPE (*Customer Premise Equipment*).
2. Untuk mendapatkan karakteristik antena yang diinginkan, maka antena array mikrostrip sirkular dimodifikasi dengan bantuan simulator Ansoft HFSS 9.2.
3. Bandwidth antena hasil simulasi dan pengukuran kurang memenuhi spesifikasi awal. Hal ini disebabkan karena sifat dasar antena mikrostrip yang memiliki bandwidth yang sempit atau $\leq 1\%$ dari frekuensi tengah. Dan diestimasikan untuk memperbesar bandwidth antenna dapat dilakukan dengan meningkatkan ketebalan substrat dan menggunakan teknik penyepadanan yang lain.
4. Diestimasikan untuk meningkatkan Gain dapat dengan cara menambah patch mikrostrip sirkular.
5. Bentuk polaradiasi yang didapatkan menyerupai direksional, pada proses pengukuran masih terdapat penyimpangan dari hasil simulasi yang disebabkan karena kondisi pengukuran yang kurang sempurna akibat masih adanya pantulan sinyal terhadap objek disekitar pengukuran. Dan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang akurat, harus dilakukan dalam *anechoic chamber*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] James, J.R. dan Hall, P.S., , Handbook of Microstrip Antennas – IEE Electromagnetic Waves Series, London, 1989
- [2] Constantine. Balanis , “Antenna Theory Analysis And Design” John Willey & Sons, New York 1982.
- [3].Henry Jasik , “ Antenna Engineering HandBook”, McGraw-Hill , USA ,1961