

SIMULASI ANTENA MIKROSTRIP *H-SHAPED PLANAR ARRAY* 4 ELEMEN MENGGUNAKAN *CIRCULAR SLOT* DENGAN PENCATUAN *MICROSTRIP LINE* UNTUK APLIKASI CPE FIXED WIMAX PADA FREKUENSI 3,5 GHZ (3,4-3,6 GHZ)

Yoga Yusfarino*, Eri Safrianti**

*Teknik Elektro Universitas Riau**Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, 28293

Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Email : yoga.yusmal@gmail.com

ABSTRACT

WiMAX technology has high data transfer speed, large access range and mobility capability. To access the fixed WiMAX network required Costumer Premise Equipment (CPE). CPE require a little dimension antenna and integrated it easily. Therefore, microstrip antenna is a good candidate for this application. In this final project designed of 4 elements planar array microstrip antenna using H-shaped with circular slot for CPE fixed WiMAX applications in 3.5 GHz (3.4-3.6 GHz). The substrates used are FR4 with value of relativity permittivity 4.4 and Duroid with value of relativity permittivity 2.2 using microstrip line feed techniques. To determine the dimensions of the antenna before it designed, performed theoretical calculation first. For this antenna simulation process, the authors use the Ansoft HFSS 13.0. The results of designed showed that antenna works at a frequency of 3.3786-3.6106 GHz using FR4 and 3.383-3.6149 GHz using Duroid at VSWR $\leq 1,9$ with gain are 4.7083 dB and 8.486 dB.

Keyword: CPE fixed WiMAX, planar array, VSWR, gain.

I. PENDAHULUAN

Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) merupakan teknologi yang ditunjukkan untuk mengatasi masalah yang terdapat pada jaringan nirkabel seperti rendahnya laju data dan keterbatasan jangkauan penyedia layanan. WiMAX, dikenal dengan standar 802.16 yang dikembangkan oleh *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) yang dapat melakukan transfer data dengan kecepatan 70 Mbps dalam radius jarak 30-50 km untuk menyediakan layanan akses bagi ribuan pelanggan (Komarudin, Rusandi, Herlinawati, dan Agustine, 2012).

Antena mikrostrip yang dirancang bekerja pada frekuensi 3,5 GHz (3,4-3,6 GHz) berdasarkan standar IEEE 802.16 untuk BWFA pada jaringan fixed WiMAX. Pembuatan antena mikrostrip menggunakan substrat FR4 dan Duroid yang elemen peradiasinya berbentuk h-shaped dengan circular slot dibagian tengahnya dan disusun secara planar array dengan jumlah elemen peradiasi 4 elemen.

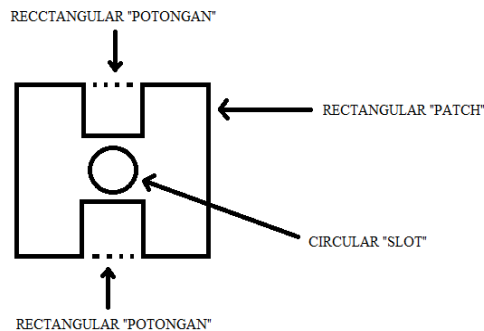
II. DESAIN ANTENA

2.1 KONFIGURASI DAN SPESIFIKASI ANTENA

Bahan-bahan yang digunakan adalah sebagai berikut :

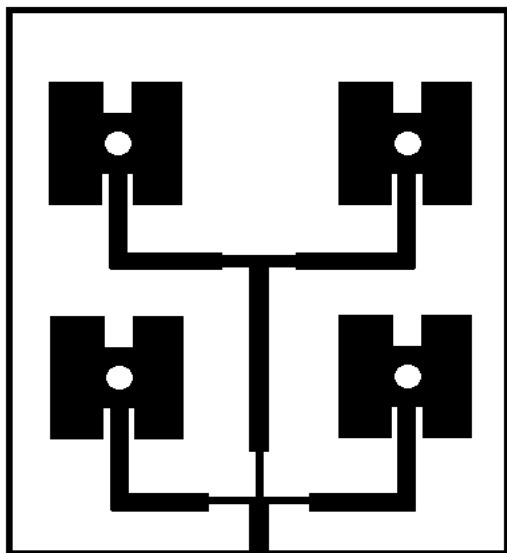
- *Patch* dan *Ground* : Tembaga (*Copper*)
 - a. Konduktifitas $5,8 \times 10^7$ S/m
 - b. Ketebalan 0,035 mm
- *Substrate*
 - 1. FR4
 - a. Konstanta dielektrik (ϵ_r) = 4,4
 - b. Ketebalan = 1,6 mm
 - 2. Duroid
 - a. Konstanta dielektrik (ϵ_r) = 2,2
 - b. Ketebalan = 1,57 mm
- Frekuensi Kerja = 3,5 GHz (3,4-3,6 GHz)
- Impedansi karakteristik saluran 50 Ohm

Model dari elemen peradiasi (*Patch*) dari antena ini akan diperlihatkan pada gambar 2.1 berbentuk *h-shaped* dengan *circular slot* dibagian tengahnya.



Gambar 2.1 Model Rancangan *Patch* Antena Mikrostrip

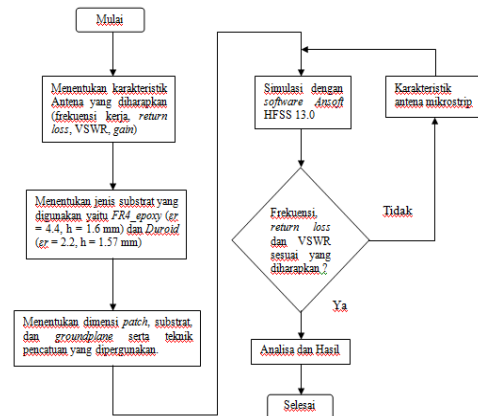
Sedangkan rancangan dari antena yang dibuat akan diperlihatkan pada gambar 2.2 dengan menggunakan pencatutan *microstrip line*.



Gambar 2.2 Rancangan Antena Mikrostrip Slot H-Shaped 4 Elemen

2.2 DIAGRAM ALIR PERANCANGAN ANTENA

Dalam merancang suatu antena diperlukan diagram alir yang berisi langkah-langkah dalam proses perancangan mulai dari penentuan karakteristik antena yang diharapkan sampai pada analisa rancangan antena itu sendiri. Diagram alir lengkap dari rancangan ini akan diperlihatkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Diagram Alir Perancangan Antena

2.3 PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP

A. Perancangan Ukuran Patch Rectangular

a. *Patch rectangular* untuk substrat *FR4_epoxy* terdiri atas panjang (L) dan lebar (W),

Lebar patch (W) :

$$W = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 3,5 \times 10^9 \times \sqrt{\frac{(4,4 + 1)}{2}}} = 26,1 \text{ mm}$$

Panjang Patch (L) :

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{4,4 + 1}{2} + \frac{4,4 - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left(\frac{1,6}{26,1} \right)}} \right) = 3,99$$

$$\Delta L = 0,412 \times 1,6 \times \frac{(3,99 + 0,3) \left(\frac{26,1}{1,6} + 0,264 \right)}{(3,99 - 0,258) \left(\frac{26,1}{1,6} + 0,8 \right)} = 0,734 \text{ mm}$$

$$L_{\text{eff}} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 3,5 \times 10^9 \times \sqrt{3,99}} = 21,454 \text{ mm}$$

$$L = 21,454 - (2 \times 0,734) = 20 \text{ mm}$$

b. *Patch rectangular* untuk substrat *Duroid* terdiri atas panjang (L) dan lebar (W),

Lebar patch (W) :

$$W = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 3,5 \times 10^9 \times \sqrt{\frac{(2,2 + 1)}{2}}} = 33,9 \text{ mm}$$

Panjang Patch (L) :

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{2,2 + 1}{2} + \frac{2,2 - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left(\frac{1,57}{33,9} \right)}} \right) = 2,081$$

$$\Delta L = 0,412 \times 1,57 \times \frac{(2,081 + 0,3) \left(\frac{33,9}{1,57} + 0,264 \right)}{(2,081 - 0,258) \left(\frac{33,9}{1,57} + 0,8 \right)}$$

$$= 0,8246 \text{ mm}$$

$$L_{\text{eff}} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 3,5 \times 10^9 \sqrt{2,081}} = 29,7 \text{ mm}$$

$$L = 29,7 - (2 \times 0,8246) = 28,1 \text{ mm}$$

Dari perhitungan ukuran patch tersebut, diperoleh panjang dan lebar patch antenna mikrostrip dengan substrat FR4_epoxy masing-masing adalah 26,1 mm dan 20 mm, sedangkan panjang dan lebar patch antenna mikropstrip dengan substrat Duroid masing-masing adalah 33,9 mm dan 28,1 mm.

B. Perancangan Saluran Pencatu 50 Ω

a. Impedansi 50 Ω untuk substrat FR4_epoxy

$$B = \frac{60 \times 4,4^2}{50 \times \sqrt{4,4}} = 5,64$$

W

$$= \frac{2 \times 1,6}{3,14} \times \left\{ \begin{array}{l} 5,64 - 1 - \ln((2 \times 5,64) - 1) + \frac{4,4 - 1}{2 \times 4,4} x \\ \left[\ln(5,64 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{4,4} \right] \end{array} \right\}$$

$$= 3,06 \text{ mm}$$

b. Impedansi 50 Ω untuk substrat Duroid

$$B = \frac{60 \times 2,2^2}{50 \times \sqrt{2,2}} = 7,97$$

W

$$= \frac{2 \times 1,57}{3,14} \times \left\{ \begin{array}{l} 7,97 - 1 - \ln((2 \times 7,97) - 1) + \frac{2,2 - 1}{2 \times 2,2} x \\ \left[\ln(7,97 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{2,2} \right] \end{array} \right\}$$

$$= 4,8 \text{ mm}$$

Dengan memasukkan karakteristik impedansi yang diinginkan dan parameter-parameter substrat yang digunakan ke dalam rumus di atas, maka dari hasil perhitungan untuk menghasilkan nilai impedansi 50 dengan menggunakan nilai parameter substrat FR4_epoxy dan Duroid yang digunakan dalam perancangan ini, dibutuhkan lebar saluran

pencatu masing-masing sebesar 3,06 mm dan 4,8 mm.

C. Perancangan Jarak Antar Elemen

Perancangan jarak antar elemen minimal pada antenna yang dirancang pada skripsi ini sekitar setengah panjang gelombang ($d = \lambda/2$).

$$d = \frac{c}{2f} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 3,5 \times 10^9} = 42,85 \text{ mm}$$

Dari perhitungan tersebut yang berdasarkan frekuensi kerja yang digunakan, diperoleh jarak antar elemen sebesar 42,85 mm.

D. Perancangan T-Junction 70,71 Ω

Impedansi 70,71 merupakan transformator $\lambda/4$ antara saluran pencatu 100 Ω dengan 50 Ω. Nilai impedansi transformator $\lambda/4$:

$$Z_T = \sqrt{Z_1 Z_2} = \sqrt{50 \times 100} = 70,71 \Omega$$

a. T-Junction 70,71 Ω untuk substrat FR4_epoxy

Lebar 70,71 Ω :

$$B = \frac{60 \times 4,4^2}{70,71 \times \sqrt{4,4}} = 3,98$$

W

$$= \frac{2 \times 1,6}{3,14} \times \left\{ \begin{array}{l} 3,98 - 1 - \ln((2 \times 3,98) - 1) + \frac{4,4 - 1}{2 \times 4,4} x \\ \left[\ln(3,98 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{4,4} \right] \end{array} \right\}$$

$$= 1,6 \text{ mm}$$

Panjang 70,71 Ω :

$$\lambda_g = \frac{\lambda_o}{\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} = \frac{89,55}{\sqrt{3,17}} = 50,29$$

Dimana ϵ_{reff} adalah konstanta dielektrik efektif yang dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$\frac{w}{h}$$

$$= \frac{2}{3,14} \times \left\{ \begin{array}{l} 3,98 - 1 - \ln((2 \times 3,98) - 1) + \frac{4,4 - 1}{2 \times 4,4} x \\ \left[\ln(3,98 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{4,4} \right] \end{array} \right\}$$

$$= 0,997$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{4,4 + 1}{2} + \frac{4,4 - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left(\frac{1}{0,997} \right)}} \right) = 3,17$$

Sehingga diperoleh panjang saluran pencatu mikrostrip 70,71 Ω adalah

$$L = \frac{\lambda_g}{4} = \frac{50,29}{4} = 12,6 \text{ mm}$$

b. T-Junction 70,71 Ω untuk substrat Duroid

Lebar 70,71 Ω :

$$B = \frac{60 \times 2,2^2}{70,71 \times \sqrt{2,2}} = 5,64$$

W

$$= \frac{2 \times 1,57}{3,14} x \left\{ \begin{array}{l} 5,64 - 1 - \ln((2 \times 5,64) - 1) + \frac{2,2 - 1}{2 \times 2,2} x \\ \left[\ln(5,64 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{2,2} \right] \end{array} \right\}$$

$= 2,8 \text{ mm}$

Panjang 70,71 Ω :

$$\lambda_g = \frac{\lambda_o}{\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} = \frac{89,55}{\sqrt{1,814}} = 66,48$$

Dimana ϵ_{reff} adalah konstanta dielektrik efektif yang dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$\frac{w}{h}$

$$= \frac{2}{3,14} x \left\{ \begin{array}{l} 5,64 - 1 - \ln((2 \times 5,64) - 1) + \frac{2,2 - 1}{2 \times 2,2} x \\ \left[\ln(5,64 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{2,2} \right] \end{array} \right\} = 1,7576$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{2,2 + 1}{2} + \frac{2,2 - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left(\frac{1}{1,7576} \right)}} \right) = 1,8145$$

Sehingga diperoleh panjang saluran pencatu mikrostrip 70,71 Ω adalah

$$L = \frac{\lambda_g}{4} = \frac{66,48}{4} = 16,6 \text{ mm}$$

E. Perancangan T-Junction 86,6 Ω

Selain impedansi 70,71 Ω , perancangan juga dilakukan untuk impedansi 86,6 Ω yaitu

impedansi untuk 3 titik percabangan yang dihitung dengan

$$Z_T = \sqrt{Z_1 \times Z_3} = \sqrt{50 \times 150} = 86,6 \Omega$$

a. T-Junction 86,6 Ω untuk substrat FR4_epoxy

Lebar 86,6 Ω :

$$B = \frac{60 \times 4,4^2}{86,6 \times \sqrt{4,4}} = 3,26$$

W

$$= \frac{2 \times 1,6}{3,14} x \left\{ \begin{array}{l} 3,26 - 1 - \ln((2 \times 3,26) - 1) + \frac{4,4 - 1}{2 \times 4,4} x \\ \left[\ln(3,26 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{4,4} \right] \end{array} \right\}$$

$= 1 \text{ mm}$

Panjang 86,6 Ω :

$$\lambda_g = \frac{\lambda_o}{\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} = \frac{89,55}{\sqrt{3,07}} = 51,11$$

Dimana ϵ_{reff} adalah konstanta dielektrik efektif yang dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$\frac{w}{h}$

$$= \frac{2}{3,14} x \left\{ \begin{array}{l} 3,26 - 1 - \ln((2 \times 3,26) - 1) + \frac{4,4 - 1}{2 \times 4,4} x \\ \left[\ln(3,26 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{4,4} \right] \end{array} \right\} = 0,612$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{4,4 + 1}{2} + \frac{4,4 - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left(\frac{1}{0,612} \right)}} \right) = 3,07$$

Sehingga diperoleh panjang saluran pencatu mikrostrip 70,71 Ω adalah

$$L = \frac{\lambda_g}{4} = \frac{51,11}{4} = 12,8 \text{ mm}$$

b. T-Junction 86,6 Ω untuk substrat Duroid

Lebar 86,6 Ω :

$$B = \frac{60 \times 2,2^2}{86,6 \times \sqrt{2,2}} = 4,6$$

W

$$= \frac{2x1,6}{3,14} x \left\{ \begin{array}{l} 4,6 - 1 - \ln((2x4,6) - 1) + \frac{2,2 - 1}{2x2,2} x \\ \left[\ln(4,6 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{2,2} \right] \end{array} \right\}$$

$$= 1,9 \text{ mm}$$

Panjang 86,6 Ω :

$$\lambda_g = \frac{\lambda_o}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} = \frac{89,55}{\sqrt{1,78}} = 67,1$$

Dimana ϵ_{reff} adalah konstanta dielektrik efektif yang dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$\frac{w}{h}$$

$$= \frac{2}{3,14} x \left\{ \begin{array}{l} 4,6 - 1 - \ln((2x4,6) - 1) + \frac{2,2 - 1}{2x2,2} x \\ \left[\ln(4,6 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{2,2} \right] \end{array} \right\}$$

$$= 1,198$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{4,4 + 1}{2} + \frac{4,4 - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left(\frac{1}{1,198} \right)}} \right)$$

$$= 1,78$$

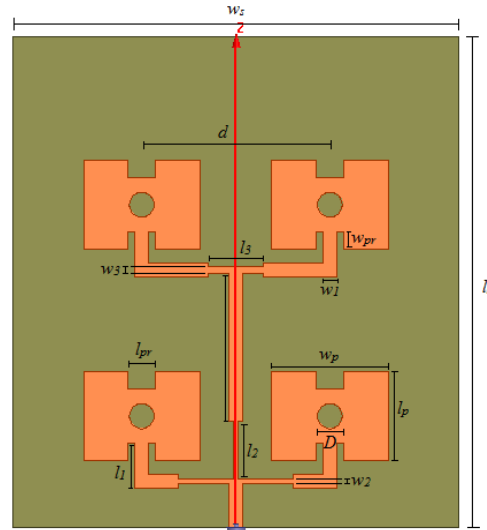
Sehingga diperoleh panjang saluran pencatu mikrostrip 70,71 Ω adalah

$$L = \frac{\lambda_g}{4} = \frac{67,1}{4} = 16,8 \text{ mm}$$

F. Optimasi Antena Array

a. Optimasi Antena Array FR4

Karakterisasi antena dengan cara melakukan variasi ukuran jari-jari *circular slot* dari 2 mm hingga 3 mm dengan kenaikan 0,1 mm serta melakukan variasi ukuran lebar dari potongan *rectangular* dari 4 mm hingga 5 mm dengan kenaikan 0,5 mm. Hasil akhir Antena Mikrostrip H-shaped planar array 4 elemen menggunakan circular slot dengan pencatutan *microstrip line* untuk aplikasi CPE *fixed* WiMAX pada frekuensi 3,5 GHz (3,4-3,6 GHz) memakai substrat FR4_epoxy akan diperlihatkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Geometri Rancangan Akhir Antena Mikrostrip Slot H-Shaped 4 Elemen Substrat FR4_epoxy

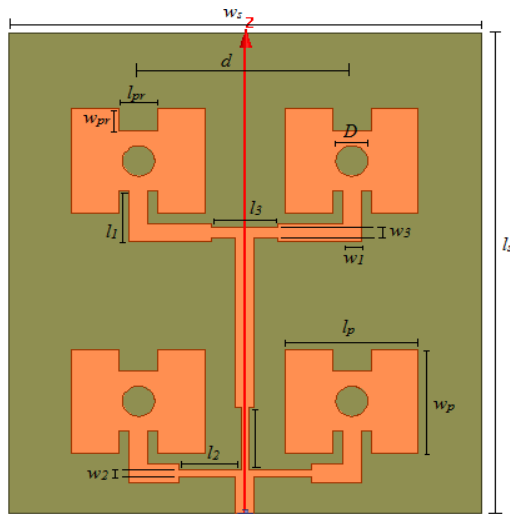
Ukuran dari tiap parameter pada rancangan hasil optimasi dari antena ini akan diperlihatkan pada tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Dimensi Rancangan Akhir Antena Mikrostrip Slot H-Shaped 4 Elemen Substrat FR4_epoxy

Parameter	Ukuran (mm) "FR4_epoxy"
Panjang Substrat (l_s)	110
Lebar Substrat (w_s)	100
Panjang Patch (l_p)	26,1
Lebar Patch (w_p)	20
Panjang Potongan Rectangular (l_{pr})	6,06
Lebar Potongan Rectangular (w_{pr})	4
Diameter (Jari-Jari) Circular Slot (D)	5,6 / 2,8
Jarak Antar Elemen (d)	45,36
Lebar Pencatu 50 Ohm (w_1)	3,06
Panjang Pencatu 50 Ohm (l_1)	8,97
Lebar Pencatu 86.6 Ohm (w_2)	1
Panjang Pencatu 86.6 Ohm (l_2)	12,8
Lebar Pencatu 70.71 Ohm (w_3)	1,6
Panjang Pencatu 70.71 Ohm (l_3)	12,6

b. Optimasi Antena Array Duroid

Karakterisasi antenna dengan cara melakukan variasi ukuran jari-jari *circular slot* dari 4 mm hingga 5 mm dengan kenaikan 0,1 mm serta melakukan variasi ukuran lebar dari potongan *rectangular* dari 5 mm hingga 6 mm dengan kenaikan 0,5 mm. Hasil akhir Antena Mikrostrip H-shaped planar array 4 elemen menggunakan circular slot dengan pencatutan *microstrip line* untuk aplikasi CPE *fixed* WiMAX pada frekuensi 3,5 GHz (3,4-3,6 GHz) memakai substrat *Duroid* akan diperlihatkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Geometri Rancangan Akhir Antena Mikrostrip Slot H-Shaped 4 Elemen Substrat *Duroid*

Ukuran dari tiap parameter pada rancangan hasil optimasi dari antenna ini akan diperlihatkan pada tabel 2.2 sebagai berikut.

Tabel 2.2 Dimensi Rancangan Akhir Antena Mikrostrip Slot H-Shaped 4 Elemen Substrat *Duroid*

Parameter	Ukuran (mm) "Duroid"
Panjang Substrat (l_s)	130
Lebar Substrat (w_s)	120
Panjang Patch (l_p)	33,9
Lebar Patch (w_p)	28,1
Panjang Potongan Rectangular (l_{pr})	9,8
Lebar Potongan Rectangular (w_{pr})	6
Diameter (Jari-Jari) Circular Slot (D)	8,2 / 4,1
Jarak Antar Elemen (d)	59,1

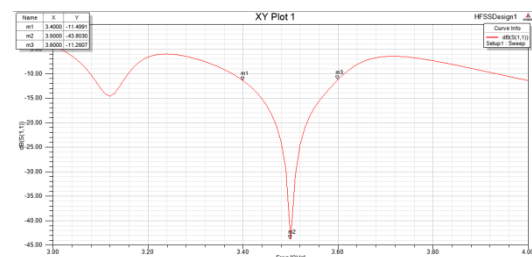
Lebar Pencatu 50 Ohm (w_1)	4,8
Panjang Pencatu 50 Ohm (l_1)	10
Lebar Pencatu 86.6 Ohm (w_2)	1,9
Panjang Pencatu 86.6 Ohm (l_2)	16,8
Lebar Pencatu 70.71 Ohm (w_3)	2,8
Panjang Pencatu 70.71 Ohm (l_3)	16,6

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

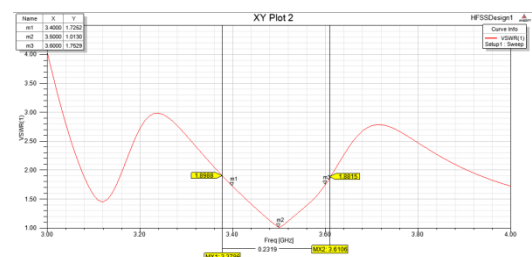
3.1 Return Loss dan VSWR Antena

a. Return Loss dan VSWR FR4 hasil Optimasi

Hasil simulasi antenna array 4 elemen setelah dilakukannya optimasi dengan menggunakan simulator antenna Ansoft HFSS 13.0 akan diperlihatkan pada gambar 3.1 dan 3.2 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Return Loss Hasil Optimasi Antena Mikrostrip Slot H-Shaped 4 Elemen Substrat *FR4_epoxy*



Gambar 3.2 VSWR Hasil Optimasi Antena Mikrostrip Slot H-Shaped 4 Elemen Substrat *FR4_epoxy*

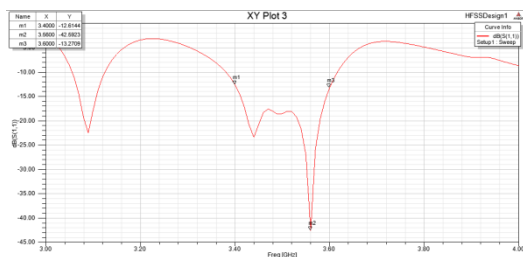
Gambar 3.1 dan gambar 3.2 memperlihatkan *impedance bandwidth* pada antenna mikrostrip H-Shaped 4 elemen substrat *FR4_epoxy* dengan pencatutan *microstrip line*. Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa pada pada nilai *return loss* di bawah -10,16 dB ($VSWR \leq 1,9$) *impedance bandwidth* antenna

berada pada rentang 3,3786 GHz sampai dengan 3,6106 GHz.

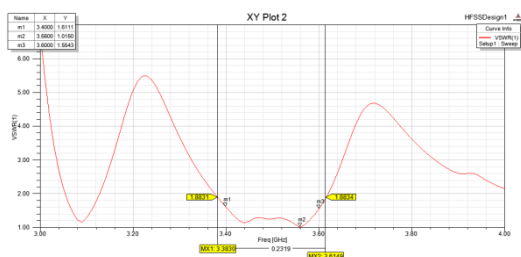
Berdasarkan gambar 3.1 dan gambar 3.2 juga dapat dilihat bahwa *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 3,4 GHz dan 3,6 GHz masing-masing adalah -11,4991 dB dan -11,2607 dB dan *return loss* terbaik berada pada frekuensi 3,5 GHz dengan nilai -43,803 dB, sedangkan VSWR yang diperoleh pada frekuensi 3,4 GHz dan 3,6 GHz masing-masing adalah 1,7252 dan 1,7529 dan pada frekuensi tengahnya 3,5 GHz diperoleh 1,013.

b. *Return Loss* dan VSWR Duroid hasil Optimasi

Hasil simulasi antenna array 4 elemen setelah dilakukannya optimasi dengan menggunakan simulator antenna Ansoft HFSS 13.0 akan diperlihatkan pada gambar 3.3 dan 3.4 sebagai berikut.



Gambar 3.3 *Return Loss* Hasil Optimasi Antena Mikrostrip Slot H-Shaped 4 Elemen Substrat FR4_epoxy



Gambar 3.4 VSWR Hasil Optimasi Antena Mikrostrip Slot H-Shaped 4 Elemen Substrat FR4_epoxy

Gambar 3.3 dan gambar 3.4 memperlihatkan *impedance bandwidth* pada antenna mikrostrip H-Shaped 4 elemen substrat Duroid dengan pencatutan *microstrip line*. Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa pada nilai *return loss* di bawah -10,16 dB (VSWR ≤ 1,9) *impedance bandwidth* antenna berada pada rentang 3,383 GHz sampai dengan 3,6149 GHz.

Berdasarkan gambar 3.3 dan gambar 3.4 juga dapat dilihat bahwa *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 3,4 GHz dan 3,6 GHz masing-masing adalah -12,6144 dB dan -13,2709 dB dan *return loss* terbaik berada pada frekuensi 3,56 GHz dengan nilai -42,5923 dB, sedangkan VSWR yang diperoleh pada frekuensi 3,4 GHz dan 3,6 GHz masing-masing adalah 1,6111 dan 1,5543 dan pada frekuensi tengahnya 3,56 GHz diperoleh 1,015.

3.2 *Bandwidth* Antena

a. *Bandwidth* FR4 hasil Optimasi

Berdasarkan pada gambar 3.2, diketahui bahwa pada rentang frekuensi 3,5-3,6 GHz, antenna mikrostrip ini mampu bekerja pada VSWR ≤ 1,9. Adapun *bandwidth* yang dicapai pada nilai VSWR ≤ 1,9 adalah :

$$\text{Bandwidth} = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100 \%$$

$$\text{Bandwidth} = \frac{3,6106 - 3,3786}{3,4946} \times 100 \%$$

$$\text{Bandwidth} = 6,639 \%(231,9 \text{ MHz})$$

Dari hasil perhitungan di atas diperoleh bahwa *bandwidth* Antena Mikrostrip Patch H-Shaped Planar Array 4 elemen dengan substrat FR4_epoxy pada VSWR ≤ 1,9 memiliki *bandwidth* yang lebih besar (6,639 %) dibandingkan dengan *bandwidth* yang telah ditetapkan secara teori, yaitu berkisar 2-5% saja.

b. *Bandwidth* Duroid hasil Optimasi

Berdasarkan pada gambar 3.4, diketahui bahwa pada rentang frekuensi 3,5-3,6 GHz, antenna mikrostrip ini mampu bekerja pada VSWR ≤ 1,9. Adapun *bandwidth* yang dicapai pada nilai VSWR ≤ 1,9 adalah :

$$\text{Bandwidth} = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100 \%$$

$$\text{Bandwidth} = \frac{3,6149 - 3,383}{3,4946} \times 100 \%$$

$$\text{Bandwidth} = 6,627 \%(231,9 \text{ MHz})$$

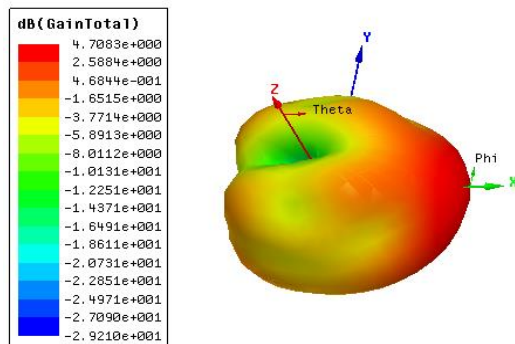
Dari hasil perhitungan di atas diperoleh bahwa *bandwidth* Antena Mikrostrip Patch H-Shaped Planar Array 4 elemen dengan substrat

Duroid pada $VSWR \leq 1,9$ memiliki *bandwidth* yang lebih besar (6,627 %) dibandingkan dengan *bandwidth* yang telah ditetapkan secara teori, yaitu berkisar 2-5% saja.

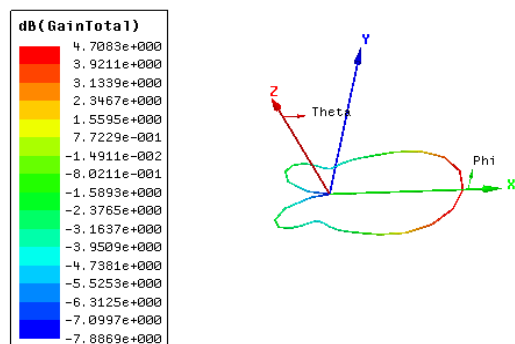
3.3 Gain Antena

a. Gain FR4 hasil Optimasi

Selain *return loss* dan *VSWR*, rancangan antena ini juga diharapkan bisa mendapatkan *gain* > 3 dB sesuai dengan harapan awal dari skripsi ini. Gambar 3.5 dan Gambar 3.6 akan memperlihatkan *gain* dari hasil simulasi antena mikrostrip *patch h-shaped planar array* 4 elemen dengan substrat *FR4_epoxy*.



Gambar 3.5 3D Polar Plot Gain Hasil Optimasi Antena Mikrostrip H-Shaped 4 Elemen Substrat *FR4_epoxy* ($\varphi = 0^\circ - 360^\circ$; $\theta = 0^\circ - 360^\circ$)



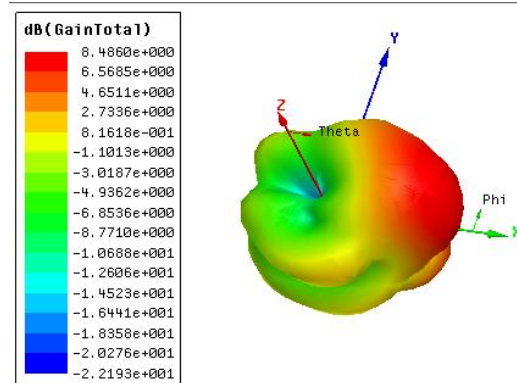
Gambar 3.6 3D Polar Plot Gain Hasil Optimasi Antena Mikrostrip H-Shaped 4 Elemen Substrat *FR4_epoxy* ($\varphi = 0^\circ - 360^\circ$; $\theta = 90^\circ$)

Dari gambar 3.5 dapat dilihat bagaimana bentuk pola 3 dimensi dari *gain* antena mikrostrip *h-shaped* 4 elemen substrat *FR4_epoxy* berdasarkan hasil simulasi *software Ansoft HFSS 13.0* dengan sudut $\varphi = 0^\circ - 360^\circ$; $\theta = 0^\circ - 360^\circ$ yang bernilai 4,7038 dB. Kemudian, pada gambar 3.6 dapat dilihat perkiraan sudut

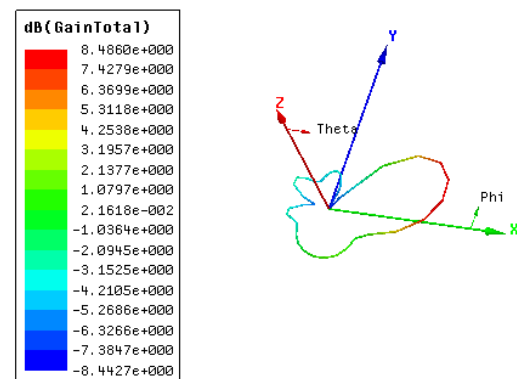
dimana *gain* antena terbaik berada, yaitu pada sudut $\varphi = 0^\circ - 360^\circ$; $\theta = 90^\circ$.

b. Gain Duroid hasil Optimasi

Selain *return loss* dan *VSWR*, rancangan antena ini juga diharapkan bisa mendapatkan *gain* > 3 dB sesuai dengan harapan awal dari skripsi ini. Gambar 3.7 dan Gambar 3.8 akan memperlihatkan *gain* dari hasil simulasi antena mikrostrip *patch h-shaped planar array* 4 elemen dengan substrat *FR4_epoxy*.



Gambar 3.7 3D Polar Plot Gain Hasil Optimasi Antena Mikrostrip H-Shaped 4 Elemen Substrat *Duroid* ($\varphi = 0^\circ - 360^\circ$; $\theta = 0^\circ - 360^\circ$)



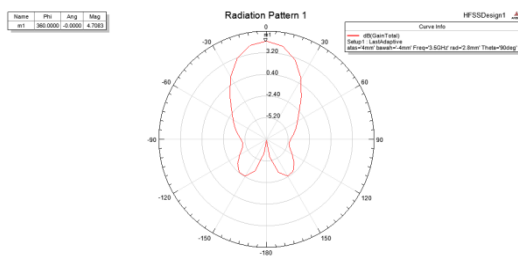
Gambar 3.8 3D Polar Plot Gain Hasil Optimasi Antena Mikrostrip H-Shaped 4 Elemen Substrat *Duroid* ($\varphi = 0^\circ - 360^\circ$; $\theta = 70^\circ$)

Dari gambar 3.7 dapat dilihat bagaimana bentuk pola 3 dimensi dari *gain* antena mikrostrip *h-shaped* 4 elemen substrat *Duroid* berdasarkan hasil simulasi *software Ansoft HFSS 13.0* dengan sudut $\varphi = 0^\circ - 360^\circ$; $\theta = 0^\circ - 360^\circ$ yang bernilai 8,486 dB. Kemudian, pada gambar 3.8 dapat dilihat perkiraan sudut dimana *gain* antena terbaik berada, yaitu pada sudut $\varphi = 0^\circ - 360^\circ$; $\theta = 70^\circ$.

3.4 Pola Radiasi Antena

a. Pola Radiasi *FR4* hasil Optimasi

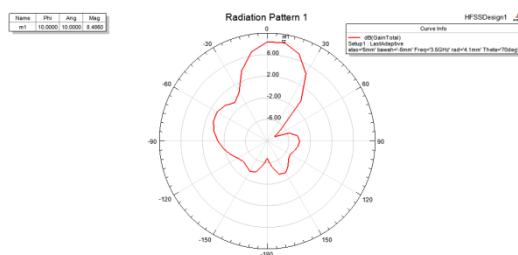
Berdasarkan perkiraan sudut pada gambar 3.6, pola radiasi antena ini dapat ditentukan. Gambar 3.9 akan memperlihatkan bagaimana bentuk pola radiasi dari *gain* antena mikrostrip *h-shaped* 4 elemen substrat *FR4_epoxy*.



Gambar 3.9 Pola Radiasi Rancangan Akhir Antena Mikrostrip *H-Shaped* 4 Elemen Substrat *FR4_epoxy* ($\phi = 0^\circ - 360^\circ$; $\theta = 90^\circ$)

b. Pola Radiasi *Duroid* hasil Optimasi

Berdasarkan perkiraan sudut pada gambar 3.6, pola radiasi antena ini dapat ditentukan. Gambar 3.10 akan memperlihatkan bagaimana bentuk pola radiasi dari *gain* antena mikrostrip *h-shaped* 4 elemen substrat *Duroid*.



Gambar 3.10 Pola Radiasi Rancangan Akhir Antena Mikrostrip *H-Shaped* 4 Elemen Substrat *Duroid* ($\phi = 0^\circ - 360^\circ$; $\theta = 70^\circ$)

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan proses simulasi antena diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Antena mikrostrip *patch h-shaped* yang dirancang mampu bekerja pada frekuensi 3,5 GHz (3,4-3,6 GHz).
2. Nilai VSWR yang didapatkan pada antena rancangan bersubstrat *FR4_epoxy* bernilai

1.013 dan antena rancangan bersubstrat *Duroid* bernilai 1.015, dimana nilai ini telah memenuhi kebutuhan yang ingin dicapai, yaitu pada nilai $VSWR \leq 1.9$.

3. Nilai *return loss* yang didapatkan pada antena rancangan bersubstrat *FR4_epoxy* bernilai -43,803 dB dan antena rancangan bersubstrat *Duroid* bernilai -42,5923 dB, dimana nilai ini telah memenuhi kebutuhan yang ingin dicapai, yaitu pada nilai *gain* > 3 dB.
4. Nilai *gain* yang didapatkan pada antena rancangan bersubstrat *FR4_epoxy* bernilai 4,7083 dB dan antena rancangan bersubstrat *Duroid* bernilai 8,486 dB, dimana nilai ini telah memenuhi kebutuhan yang ingin dicapai, yaitu pada nilai *gain* > 3 dB.
5. Karakterisasi ukuran potongan *rectangular* dan *circular slot* mempengaruhi rentang frekuensi kerja. Untuk antena rancangan bersubstrat *FR4_epoxy*, frekuensi kerja yang optimal berada pada karakterisasi potongan *rectangular* pada variasi ukuran lebar 4 mm, 4.5 mm, dan 5 mm dengan variasi ukuran *slot* 2 mm hingga 3 mm dengan kenaikan 0,1 mm. Sedangkan untuk antena rancangan bersubstrat *Duroid*, frekuensi kerja optimal berada pada karakterisasi potongan *rectangular* pada variasi ukuran lebar 5 mm, 5.5 mm, dan 6 mm dengan variasi ukuran *slot* 4 mm hingga 5 mm dengan kenaikan 0,1 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- Rogers Corporation, "Standard Thickness, Tolerance and Panel Size in (mm)." Rogers Advanced Circuit Materials, ISO 9002 certified, USA, 2009.
- Constantine A. Balanis "Antena Theory : Analysis and Design." USA : John Willey and Sons, 1997.
- Fauzi, Achmad. 2010. Antena Mikrostrip Slot Lingkaran Untuk Memperlebar Bandwidth Dengan Teknik Pencatu Coplanar Waveguide Pada Frekuensi 2,3 GHz. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Indonesia.
- Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I., Ittipiboon, A., "Microstrip Antenna Design Handbook." Artech House Inc, Norwood, MA, 2001.

- Gusman, Rezki Ananda. 2014. Simulasi Antena Mikrostrip Patch Persegi Panjang *Planar Array 6 Elemen* Dengan Pencatutan *Aperture Coupled* Untuk Aplikasi CPE Wimax Pada Frekuensi 3.3-3.4 Ghz. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Indonesia.
- Hirasawa, K., Haneishi, M., “*Analysis, Design, and Measurement of Small and Low-Profile Antennas.*” Artech House Inc, Norwood, MA, 1992.
- Komarudin, M., Rusandi, A, B., Herlinawati., Agustine, S., Perancangan Antena Cerdas Berbasis Susunan Antena Mikrostrip 2,3 GHz untuk Aplikasi *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)*. Electrician Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro, Vol.6 No.2, Mei 2012.
- Loong, K, W, H., “*Design and Development of 3x3 Element Microstrip Reflect Array for Spatial Power Combining.*” The School of Computer Science & Electrical Engineering, University of Queensland, October 20th 2000.
- Misra, D, K., “*Radio Frequency and Microwave Communication Circuit.*” Wiley Interscience, 2004.
- Pozar, D, M., Kaufmann, B., “*Increasing the Bandwidth of Microstrip Antenna by Proximity Coupling.*” Electron. Lett, Vol.23, 1987, pp. 368-369.
- Rahmadyanto, Heri. 2009. Rancang Bangun Antena Mikrostrip *Slot Triangular Array 8 Elemen* Dengan Pencatutan *Microstrip Feed Line* Secara Tidak Langsung Untuk Aplikasi CPE Wimax. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Indonesia.
- Targonski, S, D., Waterhouse, R, B., Pozar, D, M., “*Design of Wide-Band Aperture Stacked Patch Microstrip Antennas.*” IEEE Trans. On Antennas and Propagation, Vol. AP-46, 1998, pp. 1245-1251.
- Wijaya, Andhika Bayu. 2009. Rancang Bangun Antena Mikrostrip *Rectangular Array 8 Elemen* Dengan Pencatutan *Electromagnetically Coupled* Untuk Aplikasi Wimax. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Indonesia.