

**PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA MIKROSTRIP  
SEGIEMPAT *ARRAY TRIPLE BAND* UNTUK APLIKASI  
*WIMAX***

***THE DESIGN AND REALIZATION OF QUADRILATERAL  
ARRAY TRIPLE BAND MICROSTRIP ANTENNA FOR WIMAX  
APPLICATIONS***

Syah Alam

Universitas 17 Agustus 1945 - Jakarta  
syah.alam@uta45jakarta.ac.id

**Abstrak**

Penelitian ini membahas tentang antena Mikrostrip dengan tiga frekuensi untuk kebutuhan komunikasi *Wimax*. Dalam penelitian ini, *patch* yang digunakan adalah bentuk *rectangular* yang akan diberikan beberapa *slit* untuk membangkitkan frekuensi ganda dengan menggunakan pencatatan langsung. Antena mikrostrip ini didesain untuk bekerja pada frekuensi 2.300, 3.300, dan 5.800 MHz, sesuai dengan frekuensi untuk aplikasi *Wimax*. Antena yang dirancang terdiri atas dua *patch*, yang dilakukan proses optimasi dengan teknik *array*. Bahan yang digunakan untuk merealisasikan antena ini adalah substrat FR4 (*epoxy*), yang memiliki konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) = 4,3, dengan tebal dimensi (h) sebesar 1,6 mm. Antena mikrostrip *Wimax* segiempat *array* tiga frekuensi telah direalisasi dan disimulasikan.

**Kata Kunci:** *WiMAX*, mikrostrip, antena, *return loss*, VSWR

**Abstract**

*This study examines* Microstrip Antenna using three frequencies for the *Wimax* communication need. A rectangular shape patch is used and divided into some slit to generate frequencies by using direct rationing. *The* microstrip antenna is designed to work at the frequencies of 2300, 3300 and 5800 MHz in accordance with the frequencies for *Wimax* applications. The designed antenna consists of two patches that has undergone the process of optimization with array techniques. The materials used for the realization of this antenna is a substrate FR4 (*epoxy*) that has a dielectric constant ( $\epsilon_r$ ) = 4.3 with a thickness dimension (h) of 1.6 mm. The Rectangular microstrip antenna array *Wimax* three frequencies have been simulated and realized.

**Keyword:** *WiMAX*, *Microstrip*, *Antena*, *Return Loss*, *VSWR*

**Tanggal Terima Naskah** : 27 Januari 2015  
**Tanggal Persetujuan Naskah** : 12 Februari 2015

## 1. PENDAHULUAN

Pada masa saat ini, perkembangan dunia telekomunikasi semakin meningkat. Jenis informasi yang dikirimkan semakin bervariasi dan semakin kompleks, mulai dari

data, suara, maupun video. Perkembangan ini juga diikuti oleh peralatan yang digunakan dalam dunia telekomunikasi mulai dari pemancar, penerima, maupun antenna yang digunakan. Secara teori, semakin besar frekuensi *carrier* yang digunakan maka kapasitas informasi yang dikirimkan semakin besar pula. Namun di balik itu, frekuensi yang besar akan menghasilkan panjang gelombang yang kecil, sehingga jarak pancarnya sangat terbatas dan sangat rentan terhambur jika berbenturan dengan halangan.

Dalam sistem telekomunikasi, antenna memiliki peran penting dalam proses pengiriman dan penerimaan yang sempurna. Antena merupakan perangkat yang digunakan dalam melakukan proses pengiriman dan penerimaan dalam telekomunikasi. Antena digunakan untuk komunikasi jarak jauh tanpa kabel (*wireless*) dengan menggunakan konduktor yang memiliki syarat-syarat tertentu. Jenis antena yang berkembang pada saat ini adalah jenis antena mikrostrip. Antena mikrostrip memiliki keunggulan mampu bekerja pada frekuensi tinggi dan memiliki ukuran yang sangat kecil sehingga penempatannya sangat efisien. Selain itu, antena ini juga mampu bekerja dengan baik pada dua atau lebih frekuensi yang berbeda dan sesuai dengan kriteria parameter penting dalam antena.

Pada penelitian ini dilakukan perancangan antena pada jaringan *WiMax*. Pemilihan teknologi *WiMax* dikarenakan teknologi ini merupakan jaringan telekomunikasi nirkabel masa depan yang menawarkan fasilitas yang sangat baik, dalam segi area cakupan dan kapasitas maksimum yang dapat ditumpangi oleh informasi. Karena frekuensi *WiMax* yang cukup tinggi dan berada pada beberapa titik kerja yang berbeda, maka antena yang digunakan adalah jenis antena mikrostrip. *WiMax Forum* menetapkan dua *band* frekuensi utama pada *certication profile* untuk *Fixed WiMax* (*band* 3,5 GHz dan 5,8 GHz), untuk *Mobile WiMax* ditetapkan empat *band* frekuensi pada *system profile release-1*, yaitu *band* 2,3 GHz, 2,5 GHz, 3,3 GHz, dan 3,5 GHz.

Tabel 1. Perbandingan perkembangan teknologi *wireless*

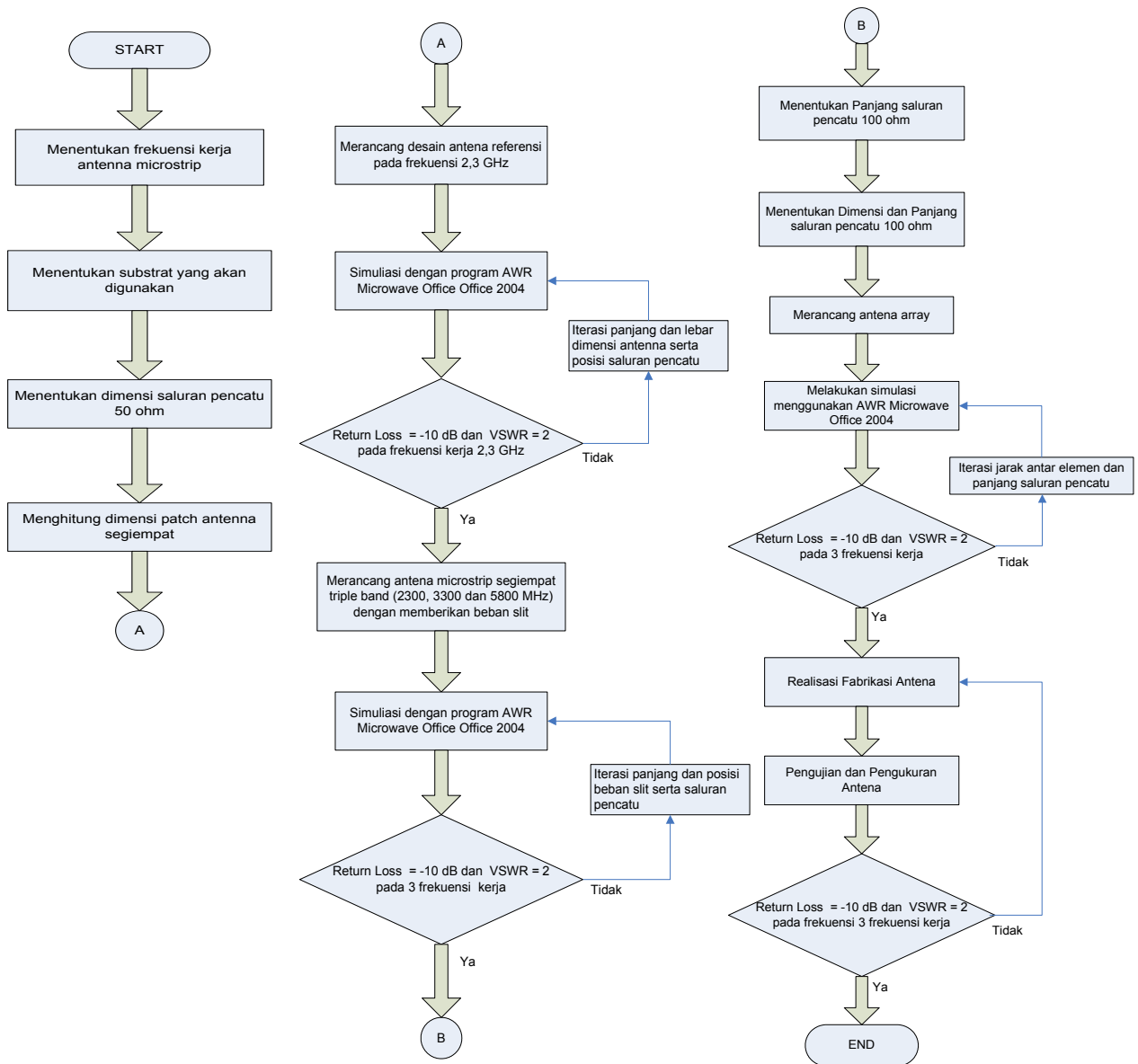
Perbandingan Perkembangan Teknologi <i>Wireless</i>					
	<i>WiFi</i> 802.11g	<i>WiMax</i> 802.16- 2004*	<i>WiMax</i> 802.16e	CDMA2000 1x EV-DO	WCDMA/UMTS
<i>Approximate max reach (dependent on many factors)</i>	100 Meters	8 Km	5 Km	*	*
<i>Maximum throughput</i>	54 Mbps	75 Mbps (20 MHz band)	30 Mbps (10 MHz band)	3.1 Mbps (EVDO Rev. A)	2 Mbps (10+ Mbps fpr HSDPA)
<i>Typical Frequency bands</i>	2.4 GHz	2-11 GHz	2-6 GHz	1900 MHz	1800,1900,2100 MHz
<i>Application</i>	<i>Wireless LAN</i>	<i>Fixed Wireless Broadband (eg-DSL alternative)</i>	<i>Portable Wireless Broadband</i>	<i>Mobile Wireless Broadband</i>	<i>Mobile Wireless Broadband</i>

Pada penelitian sebelumnya [1] telah dibuktikan bahwa pemberian beban (*load*) pada *patch* peradiasi dapat memunculkan beberapa frekuensi kerja pada antena. Pada penelitian tersebut diperoleh antena mikrostrip yang dapat bekerja dengan baik pada tiga frekuensi kerja, yaitu 2.700, 3.200, dan 5.800 MHz, dengan cara memberikan beban *slot* berbentuk huruf U pada elemen peradiasi antena. Dari hasil penelitian sebelumnya diperoleh nilai *return loss* sebesar -18,5 dB pada frekuensi 2.700 MHz, 14,5 dB

(frekuensi 3.200 MHz), dan -19 dB (frekuensi 5,8 GHz). Hasil penelitian ini menunjukkan nilai *return loss* antena sangat baik pada tiga frekuensi kerja yang diharapkan.

## 2. DESAIN ANTENA

### 2.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Dari penelitian sebelumnya [1] telah dilakukan perancangan elemen tunggal dari antena mikrostrip *triple band* menggunakan teknik pencatuan *electromagnetic coupled* (EMC). Dari hasil penelitian tersebut didapatkan nilai *return loss* sebesar -18,5 dB, pada frekuensi 2.700 MHz didapatkan nilai *return loss* sebesar -14,5 dB, dan pada frekuensi 3.200 MHz didapatkan nilai *return loss* sebesar -19 dB. Pada Penelitian ini dilakukan perancangan dan realisasi antena mikrostrip *patch* segiempat *array* yang bekerja pada tiga

frekuensi (*triple band*), yaitu pada frekuensi 2.300, 3.300, 5.800 MHz untuk aplikasi *WiMax*.

Teknik *array* merupakan salah satu cara untuk memperbaiki *gain*. Pada penelitian ini dirancang antenna segiempat *patch array* dengan menggunakan teknik *array* dan pencatuan tidak langsung [2]. Tujuan perancangan antenna *array* dengan teknik pencatuan tidak langsung adalah mengurangi radiasi elemen pencatu (*spurious radiation*) dan juga proses *matching*-nya yang dapat dilakukan relatif sederhana [3].

Terdapat beberapa tahapan dalam perancangan antenna ini, diantaranya [4]:

1. Menentukan frekuensi kerja yang diinginkan
2. Menentukan karakteristik substrat dielektrik yang digunakan
3. Merancang dimensi antenna segiempat sesuai dengan frekuensi yang diinginkan
4. Merancang antenna dengan menggunakan teknik *array*
5. Menentukan lebar pencatu
6. Menentukan posisi pencatu
7. Mensimulasikan antenna dengan program MWO
8. Karakterisasi antenna hingga didapatkan frekuensi yang diinginkan
9. Melakukan realisasi terhadap antenna yang telah dirancang
10. Melakukan pengukuran antenna hasil realisasi

## 2.2 Perancangan Antena

Setiap substrat memiliki spesifikasi yang berbeda-beda. Pada Penelitian ini substrat yang akan digunakan adalah FR4 (*epoxy*). Jenis substrat ini digunakan karena memiliki ketebalan yang cukup kecil, bahan substrat yang mudah didapatkan, dan memiliki nilai ekonomis bila dibandingkan dengan substrat *Taconic TLY-5*. Jenis substrat ini memiliki kelemahan, yaitu memiliki konstanta dielektrik yang cukup besar sehingga dapat berpengaruh pada penurunan kinerja antenna [5]. Substrat FR4 (*epoxy*) memiliki spesifikasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 2. Spesifikasi substrat yang digunakan

Jenis Substrat	FR4 ( <i>epoxy</i> )
Konstanta Dielektrik Relatif ( $\epsilon_r$ )	4.3
Konstanta Permeabilitas Relatif ( $\mu_r$ )	1
Dielectric Loss Tangent ( $\tan \delta$ )	0,0265
Ketebalan Substrat (h)	1,6 mm
Konduktifitas Bahan	$5,9 \times 10^{10}$ S/m

### 2.2.1 Perancangan Impedansi dan Dimensi Pencatu

Saluran pencatu yang digunakan pada antenna ini adalah mikrostrip *line* [6]. Terdapat dua buah impedansi saluran pencatu yang digunakan pada perancangan antenna mikrostrip ini, yaitu:

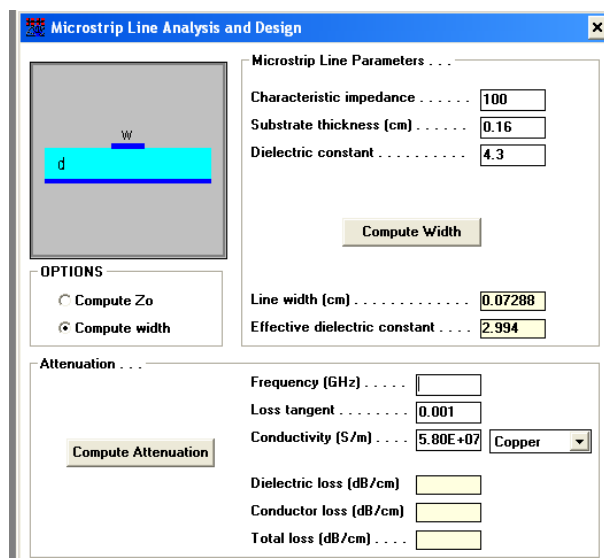
1. Saluran pencatu mikrostrip 100  $\Omega$ , yang langsung dihubungkan dengan kedua *patch* antenna segi empat,
2. Saluran pencatu utama mikrostrip 50  $\Omega$ .

### 2.2.2 Saluran Pencatu 100 Ω

Pencatu 100 Ω pada perancangan antena ini digunakan sebagai pencatu awal pada perancangan antena *array*. Untuk mendapatkan nilai hambatan 100 Ω, maka diperlukan dimensi yang tepat, tergantung pada jenis bahan substrat yang digunakan. Besarnya hambatan pencatu tergantung dari lebarnya. Didapatkan lebar saluran mikrostrip (W) sebagai berikut [7]:

$$\begin{aligned}
 B &= \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \\
 &= \frac{60\pi^2}{100\sqrt{4,3}} \\
 &= 2,86 \\
 W &= \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[ \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \\
 &= \frac{2 \times 0,0016}{\pi} \left\{ 2,86 - 1 - \ln(2 \times 2,86 - 1) + \frac{4,3 - 1}{2 \times 4,3} \left[ \ln(2,86 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{4,3} \right] \right\} \\
 &= 0,749 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Nilai ini juga dapat dicari dengan menggunakan program PCAAD. Tampilan dari program PCAAD untuk mencari lebar pencatu agar mempunyai impedansi 100 Ω dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Simulasi saluran pencatu 100 ohm menggunakan PCAAD

Dari program PCAAD, didapat lebar pencatu 100 Ω adalah 0,07288 cm atau 0,7288 mm. Untuk menyesuaikan dengan ukuran *grid Microwave* AWR 2004, maka lebar pencatu 100 Ω ini dibulatkan menjadi 0,07 cm atau 0,7 mm.

### 2.2.3 Saluran Pencatu 50 Ω

Pencatu 50 Ω digunakan sebagai pencatu utama dari antenna *array* yang akan terhubung dengan konektor SMA *female*. Lebar pencatu 50 Ω dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$B = \frac{60\pi^2}{Z0\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$= \frac{60 \Pi^2}{100 \sqrt{4,3}}$$

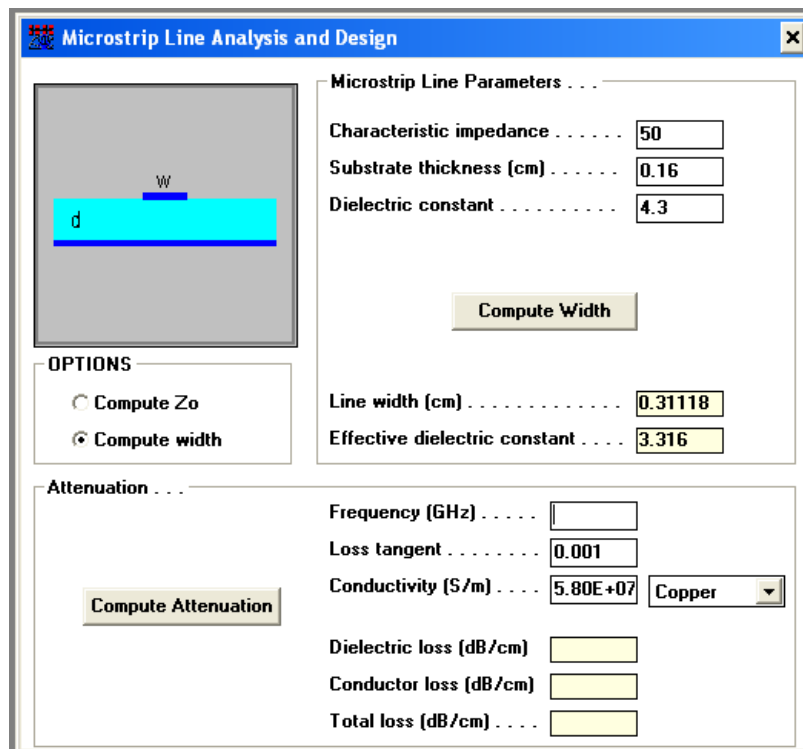
$$= 5,71$$

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

$$= \frac{2 \times 0,0016}{\Pi} \left\{ 5,71 - 1 - \ln(2 \times 5,71 - 1) + \frac{4,3 - 1}{2 \times 4,3} \left[ \ln(5,71 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{4,3} \right] \right\}$$

$$= 0,331 \text{ cm}$$

Dengan menggunakan program PCAAD, akan didapatkan lebar pencatu seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Simulasi saluran pencatu 50 ohm menggunakan PCAAD

Dari program PCAAD, didapat lebar pencatu 50 Ω adalah 0,31118 cm atau 3,1118 mm. Untuk menyesuaikan dengan ukuran *grid Microwave AWR 2004*, maka lebar pencatu 50 Ω ini dibulatkan menjadi 0,31118 cm atau 3,1118 mm.

### 2.2.4 Pengaturan Jarak Antarelemen

Pada teknik antena *array*, harus diperhatikan jarak antarelemen. Jarak ini merupakan jarak yang optimal, dimana *patch* elemen satu tidak bertindih dengan *patch* elemen yang lain didekatnya [8]. Jarak minimum antar elemen ditentukan dengan rumus:

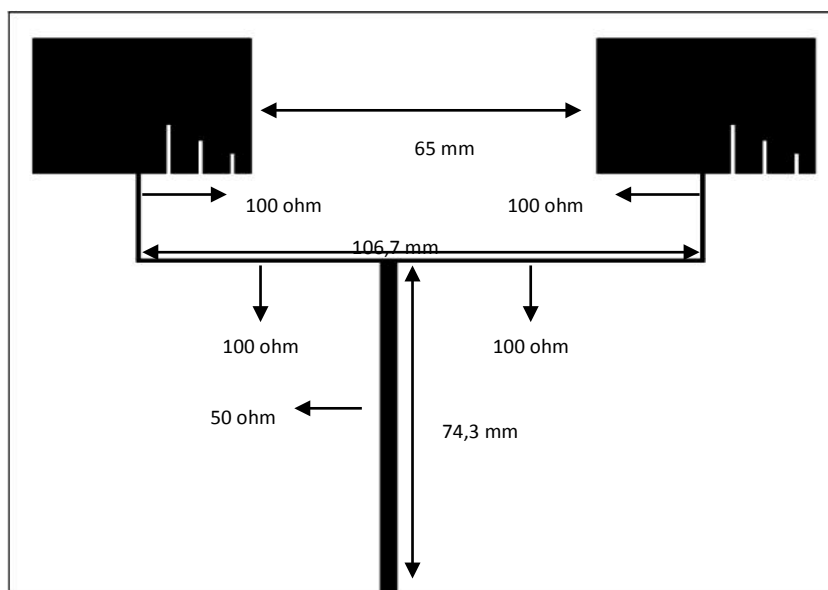
$$\begin{aligned}
 d &= \frac{\lambda}{2} \\
 &= \frac{c}{2f} \\
 &= \frac{3 \times 10^8}{2} \\
 &= 65 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4. Jarak antarelemen antena segiempat *array*

Jarak antarelemen pada antena susun yang bekerja pada frekuensi 2.300 MHz dan 3,3, GHz secara teori adalah 45,45 mm. Namun, pada proses simulasi jarak tersebut dapat bergeser untuk mendapatkan kinerja yang baik dengan tidak melebihi jarak  $1 \lambda$  (90,9 mm).

### 2.5.2 Perancangan Antena Susun Dua Elemen



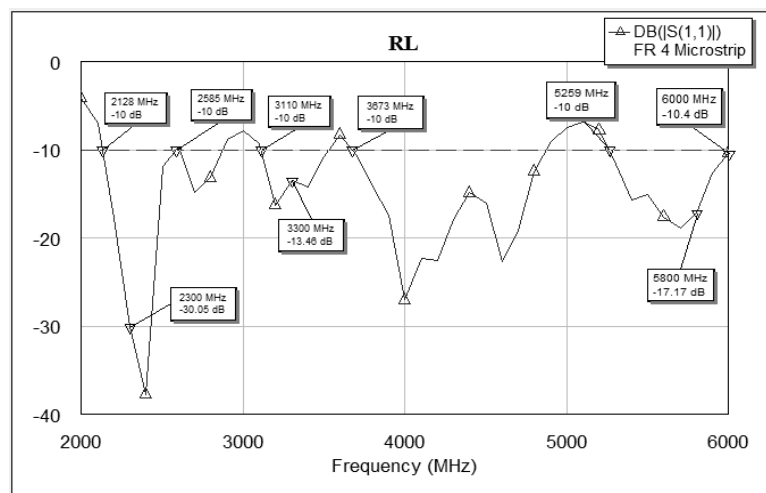
Gambar 5. Kondisi awal rancangan susun dua elemen

Antena segiempat susun dua elemen dibuat dengan cara menyusun dua buah antena elemen tunggal secara berdampingan [9]. Kedua antena dipisahkan dengan menggunakan saluran pencatu 100  $\Omega$  kemudian dihubungkan dengan saluran pencatu 50  $\Omega$ , digunakan sebagai masukan antena. Pada perancangan ini dilakukan beberapa iterasi pada antena susun tersebut, seperti dimensi *ground*, jarak antar elemen, dan tinggi pencatu 50  $\Omega$ . Kondisi awal perancangan antena mikrostrip segiempat susun dua elemen dapat dilihat pada Gambar 5.

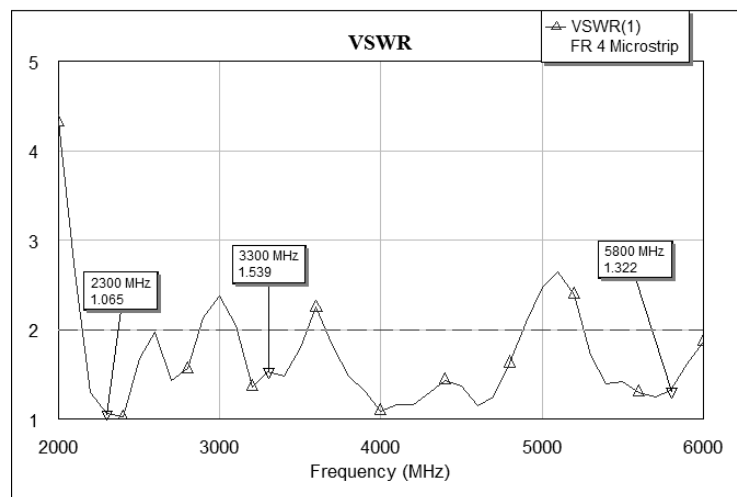
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Simulasi Awal

Hasil dari simulasi antena mikrostrip pada Gambar 5 di atas dapat dilihat dari grafik *return loss* pada Gambar 6 dan grafik VSWR pada Gambar 7.



Gambar 6. Grafik *return loss* antena segiempat susun dua elemen



Gambar 7. Grafik VSWR antena segiempat susun dua elemen

Dari hasil simulasi pada Gambar 6 dan Gambar 7 dapat dilihat bahwa antena mikrostrip segiempat susun dua elemen telah bekerja pada tiga frekuensi, yaitu 2.300, 3.300, dan 5.800 MHz. Pada frekuensi kerja 2.300 MHz didapatkan nilai *return loss* -30,05 dB dan VSWR sebesar 1,065 dengan lebar pita frekuensi 457 MHz. Pada frekuensi



kerja 3.300 MHz didapatkan nilai *return loss* sebesar -13,45 dB dan VSWR sebesar 1,539 dengan lebar pita frekuensi 563 MHz. Pada frekuensi kerja 5.800 MHz didapatkan nilai *return loss* sebesar -17,17 dB dan VSWR sebesar 1,322 dengan lebar pita frekuensi sebesar 741 MHz.

Berdasarkan hasil simulasi disimpulkan bahwa nilai parameter antena mikrostrip rancangan awal masih kurang memuaskan dan perlu dilakukan optimasi. Dalam penelitian ini dilakukan optimasi antena segiempat hasil rancangan awal dengan melakukan teknik iterasi pada tinggi saluran pencatu 50 ohm dan jarak antarelemen antena. Tujuan dari iterasi ini adalah mengoptimalkan antena agar menghasilkan kinerja yang maksimal pada parameter *return loss*, VSWR, dan lebar pita frekuensi pada ketiga frekuensi kerja yang diharapkan.

### 3.2 Iterasi dengan Mengubah Variabel Jarak Antarelemen dan Tinggi Saluran Pencatu 50 $\Omega$

Iterasi yang dilakukan dengan mengubah variabel tinggi saluran pencatu 50  $\Omega$  dan jarak antarelemen dari perancangan awal dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Variabel iterasi saluran pencatu 50 ohm

Tinggi Saluran Catu Awal	Tinggi Saluran Catu Setelah Iterasi	Perubahan Panjang Saluran Catu
51,3 mm	55,8 mm	55,8 – 51,3 = 4,5 mm
51,3 mm	60,8 mm	60,8 – 51,3 = 9,5 mm
51,3 mm	74,3 mm	74,3 – 51,3 = 23 mm

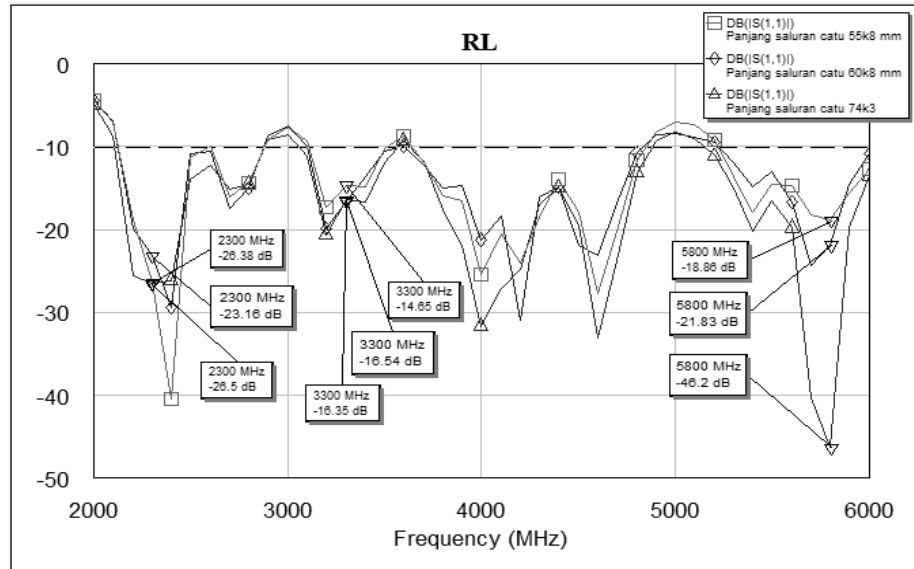
Tabel 5. Variabel iterasi jarak antar elemen antena

Jarak Awal Antarelemen	Jarak Antarelemen Setelah Iterasi	Perubahan Jarak Antarelemen
65 mm	60 mm	65 – 60 = 5 mm
65 mm	63 mm	65 – 63 = 2 mm
65 mm	67 mm	67 – 65 = 2 mm

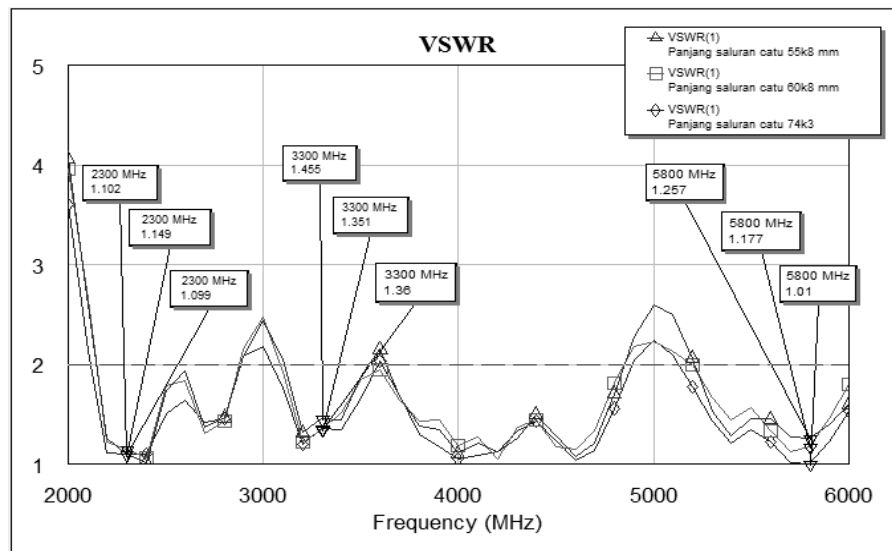
Nilai iterasi pada Tabel 4 dan 5 diambil secara acak dan diperoleh dari *trial and error* pada simulasi antena menggunakan program AWR *Microwave Office* 2004. Ukuran antena yang akan difabrikasi disesuaikan dengan hasil simulasi terbaik setelah dilakukan proses iterasi.

### 3.3 Hasil Simulasi Iterasi Antena

Dari beberapa kali proses iterasi panjang saluran catu 50 ohm didapatkan hasil yang bervariasi untuk nilai *return loss*, VSWR, dan lebar pita frekuensi. Perbandingan hasil simulasi dari masing-masing iterasi dapat dilihat pada gambar 8 dan 9.



Gambar 8. Grafik *return loss* dari ketiga iterasi tinggi saluran pencatu



Gambar 9. Grafik VSWR dari ketiga iterasi tinggi saluran pencatu 50 ohm

Hasil simulasi *return loss*, VSWR, dan rentang frekuensi (*bandwith*) dari proses iterasi saluran catu 50 ohm yang dilakukan sebanyak tiga kali dapat dilihat pada Tabel 6, 7, dan 8. Untuk perbandingan hasil simulasi antenna elemen tunggal dan *array* dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 6. Perbandingan hasil simulasi proses iterasi pada frekuensi 2.300 MHz

Tinggi Pencatu	Frekuensi 2.300 MHz		
	RL	VSWR	BW
51,3 mm	-30,05 dB	1,065	457 MHz
55,8 mm	-26,38 dB	1,102	408 MHz
60,8 mm	-23,16 dB	1,149	408 MHz
74,3 mm	-26,50 dB	1,099	782 MHz

Tabel 7. Perbandingan hasil simulasi proses iterasi pada frekuensi 3.300 MHz

Tinggi Pencatu	Frekuensi 3.300 MHz		
	RL	VSWR	BW
51,3 mm	-13,46 dB	1,539	563 MHz
55,8 mm	-14,65 dB	1,455	755 MHz
60,8 mm	-16,54 dB	1,351	479 MHz
74,3 mm	-16,35 dB	1,360	781 MHz

Tabel 8. Perbandingan hasil simulasi proses iterasi pada frekuensi 5,8 GHz

Tinggi Pencatu	Frekuensi 5,8 GHz		
	RL	VSWR	BW
51,3 mm	-17,17 dB	1,322	741 MHz
55,8 mm	-18,86 dB	1,257	776 MHz
60,8 mm	-21,83 dB	1,177	520 MHz
74,3 mm	-46,20 dB	1,010	853 MHz

Tabel 9. Perbandingan hasil *Return Loss* antenna elemen tunggal dengan *array* dua elemen

Parameter	Elemen Tunggal			<i>Array</i> Dua Elemen		
	2300 MHz	3300 MHz	5,8 GHz	2300 MHz	3300 MHz	5,8 GHz
<i>Return Loss</i>	- 11,96 dB	-20,07 dB	-30,38 dB	-26,5 dB	-16,33 dB	-46,20 dB
<i>Bandwith</i>	188 MHz	229 MHz	473 MHz	776 MHz	520 MHz	853 MHz

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa antenna yang dirancang bekerja pada tiga rentang frekuensi yang berbeda dengan nilai *return loss*, VSWR, dan rentang frekuensi yang berbeda-beda. Pada frekuensi 2.300 MHz didapatkan nilai *return loss* sebesar -26,50 dB dan VSWR sebesar 1,09 dengan frekuensi kerja 2.107 – 2.883 MHz (776 MHz). Pada frekuensi 3.300 MHz didapatkan nilai *return loss* sebesar -16,35 dB dan VSWR sebesar 1,360 dengan frekuensi kerja 3.055 – 3.575 MHz (520 MHz). Pada frekuensi 5.800 MHz didapatkan nilai *return loss* sebesar -46,20 dB dan VSWR sebesar 1,01 dengan frekuensi kerja 5.147 – 6.000 MHz (853 MHz).
2. Nilai parameter *return loss* pada antenna segiempat *array* mengalami peningkatan pada frekuensi 2.300 MHz dan 5.800 MHz sedangkan pada frekuensi 3.300 MHz mengalami penurunan. Pada frekuensi 2.300 MHz nilai *return loss* mengalami peningkatan sebesar 121,57 % dan pada frekuensi 5.800 MHz mengalami peningkatan sebesar 52,07 % sedangkan pada frekuensi 3.300 MHz nilai *return loss* mengalami penurunan sebesar -22,90 %.

#### REFERENSI

- [1]. H.F Tarboush, H.S Al Rawesidy dan R. Nivalan, “*Compact Double U Slot Patch Antenna For Mobile WiMax Application*”, Oktober 2011.

- [2]. Fawwaz T. Ulaby. 2001. *Fundamentals of applied Electromagnetics*. USA : Prentice Hall.
- [3]. Indra Surjati. 2010. *Antena Mikrostrip: Konsep dan Aplikasinya*. Jakarta : Universitas Trisakti.
- [4]. Deardo , “*Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Segitiga Linear Array 4 Element Dengan Slot Untuk Aplikasi Satelit Quasi Zenith*”, Juni 2007
- [5]. Kin-Lu, Wong. 2002. *Compact and Broadband Microstrip Antennas*. John Wiley & Sons, Inc., New York
- [6]. Yuliasuti, “*Perancangan dan Realisasi Antenna Mikrostrip Segitiga Array Dua Elemen untuk Aplikasi WiMAX*”, Juni 2009.
- [7]. Andy Wiryanto. 2008. *Perancangan Antena Mikrostrip Linear Array 4 Elemen Dengan Teknik Slot Untuk Aplikasi GPS*.
- [8]. Hilman Halim, “*Designing Triple-Band Microstrip Antenna That Operate At WiMAX Frequencies*”, Mei 2007.
- [9]. B. L. Ooi, X.D Xu, dan Irene Ang. 2005. *Triple-band Slot Antenna with Spiral EBG Feed*. IEEE International Workshop on Antenna Technology.