

## **BAB 3**

### **PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP ARRAY**

#### **3.1 UMUM**

Pada Tesis ini akan merancang dan fabrikasi antenna mikrostrip *array* linier 4 elemen dengan pencatu berbentuk “T” untuk aplikasi WiMAX yang beroperasi di tiga frekuensi (*triple-band*) yaitu frekuensi 2,3 GHz (2,3 - 2,4 GHz), 3,3 GHz (3,3 - 3,4 GHz), dan 5,8 GHz (5,725 - 5850 GHz). Ada beberapa tahapan dalam perancangan antenna ini, diantaranya adalah penentuan spesifikasi substrat yang akan digunakan, penentuan dimensi substrat, penentuan jarak antar elemen, penentuan panjang dan lebar pencatu, dan penentuan rangkaian *impedance matching*. Setelah menentukan perancangan tersebut, kemudian akan disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak *AWR Microwave Office 2004*. Tujuan disimulasikan adalah untuk melihat bagaimana karakteristik atau kinerja antenna, dimana nantinya pada saat direalisasikan atau difabrikasikan bisa sesuai dengan yang diinginkan.

Sebelum merancang antenna mikrostrip *array* linear 4 elemen, tentukan terlebih dahulu antenna mikrostrip *array* linear 2 elemen. Proses tersebut adalah untuk memudahkan proses *matching* antenna yang lebih sederhana. *Matching* antenna sangat tergantung pada letak dan parameter pencatu antenna. Pada sub bab 3 ini, akan diperlihatkan bagaimana menentukan letak dan parameter pencatu antenna secara matematis.

#### **3.2 PERANGKAT YANG DIGUNAKAN**

Perancangan antenna ini menggunakan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat keras digunakan untuk fabrikasi dan pengukuran antenna, sedangkan perangkat lunak digunakan untuk melakukan simulasi dan untuk mengetahui karakteristik atau kinerja antenna yang dirancang.

Perangkat keras yang digunakan dalam perancangan antenna mikrostrip antara lain :

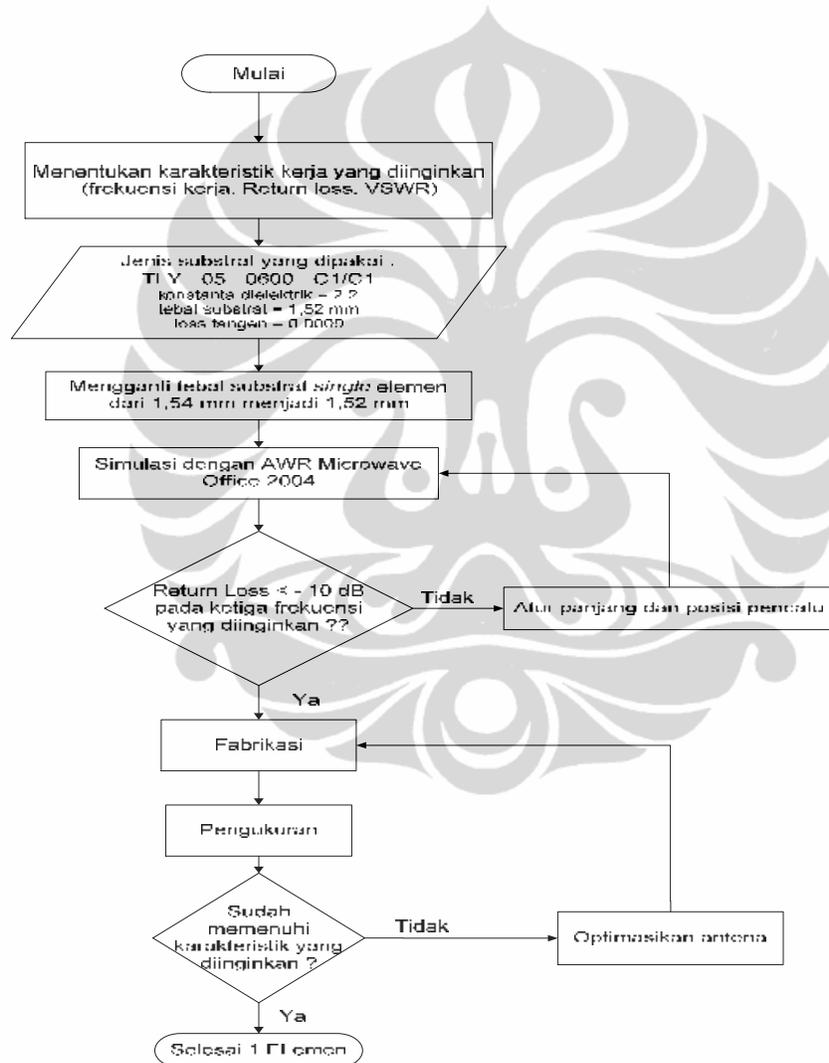
1. Substrat dielektrik Taconic TLY-5-0600-C1/C1, sebagai bahan antenna.
2. *Network Analyzer Hewlett Packard 8753E* (30 kHz - 6 GHz)  
Alat ini dapat digunakan untuk pengukuran *port* tunggal (mengukur VSWR, frekuensi resonansi, impedansi masukan, *return loss*, dan *bandwidth*) dan *port* ganda (mengukur pola radiasi dan *gain*).
3. *Power Meter Anritsu ML83A* untuk membaca daya keluaran dari antenna dan *network analyzer*.
4. *Power Sensor Anritsu MA72B* untuk mengukur daya keluaran dari antenna dan *network analyzer*.
5. *Connector SMA 50 ohm*.
6. Kabel *Coaxial 50 ohm*.

Adapun perangkat lunak (*software*) yang digunakan yaitu :

1. *AWR Microwave Office 2004*  
Perangkat lunak ini digunakan untuk merancang dan mensimulasikan antenna yang akan dibuat. Setelah disimulasi akan diperoleh beberapa karakteristik antenna seperti frekuensi kerja, *bandwidth*, impedansi input, *return loss*, VSWR, dan pola radiasi.
2. *PCAAD 5.0*  
Perangkat lunak ini digunakan untuk menentukan lebar saluran mikrostrip, impedansi karakteristik, konstanta dielektrik efektif ( $\epsilon_{eff}$ ), direktivitas, redaman, dan *gain*.
3. *Microsoft Visio 2003*  
Perangkat lunak ini digunakan untuk melakukan visualisasi desain perancangan.
4. *Microsoft Excel 2003*  
Perangkat lunak ini digunakan untuk mengolah data dengan persamaan matematis.

### 3.3 DIAGRAM ALIR PERANCANGAN ANTENA

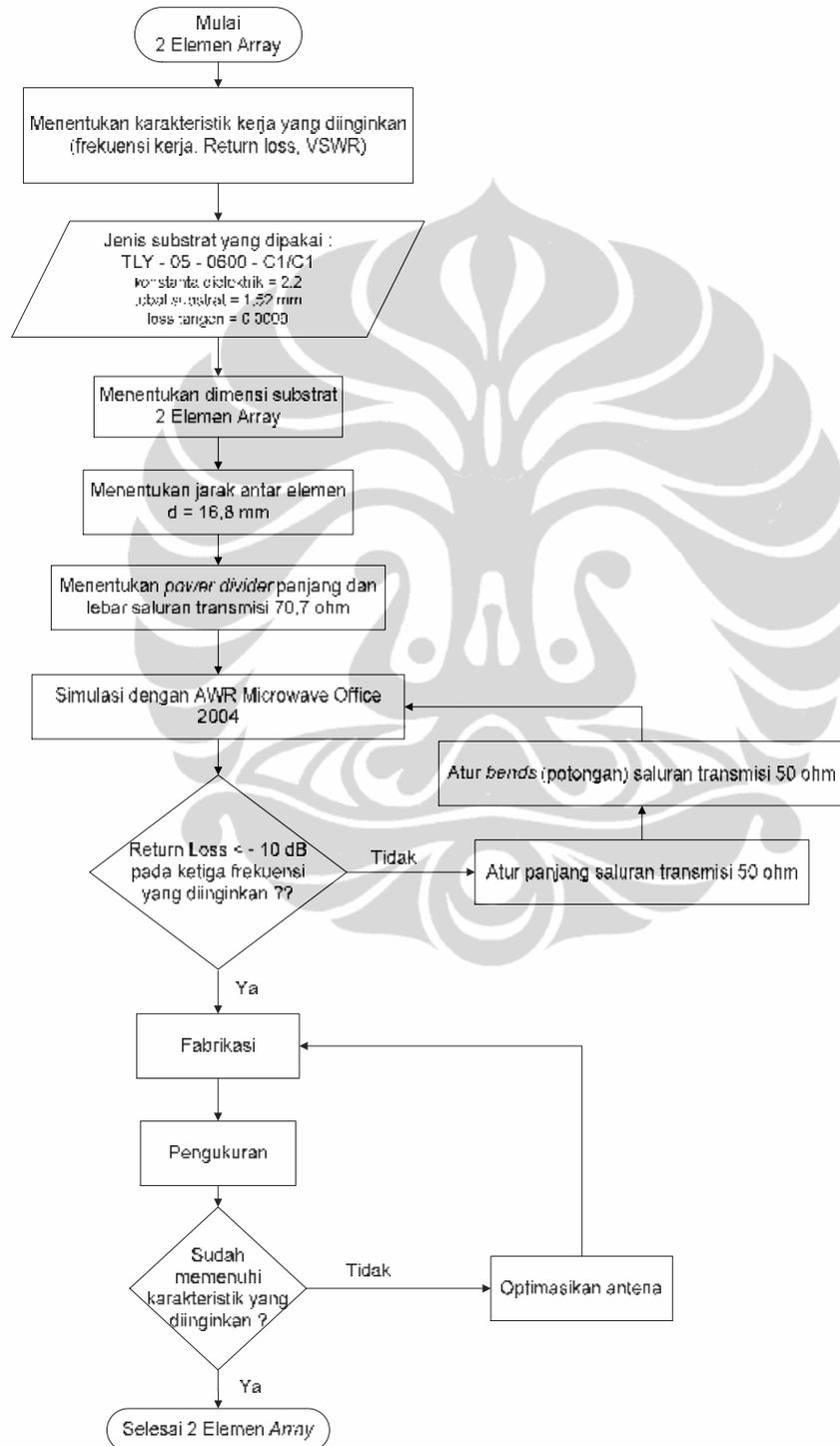
Substrat yang digunakan dalam penelitian ini tidak sama dengan substrat yang digunakan pada antenna acuan (*single* elemen). Oleh karena itu, perlu dirancang kembali antenna *single* elemen baru dengan ketersediaan substrat yang ada. Tahapan perancangan antenna mikrostrip *single* elemen baru diperlihatkan pada diagram alir (*flowchart*) Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir perancangan antenna mikrostrip *single* elemen

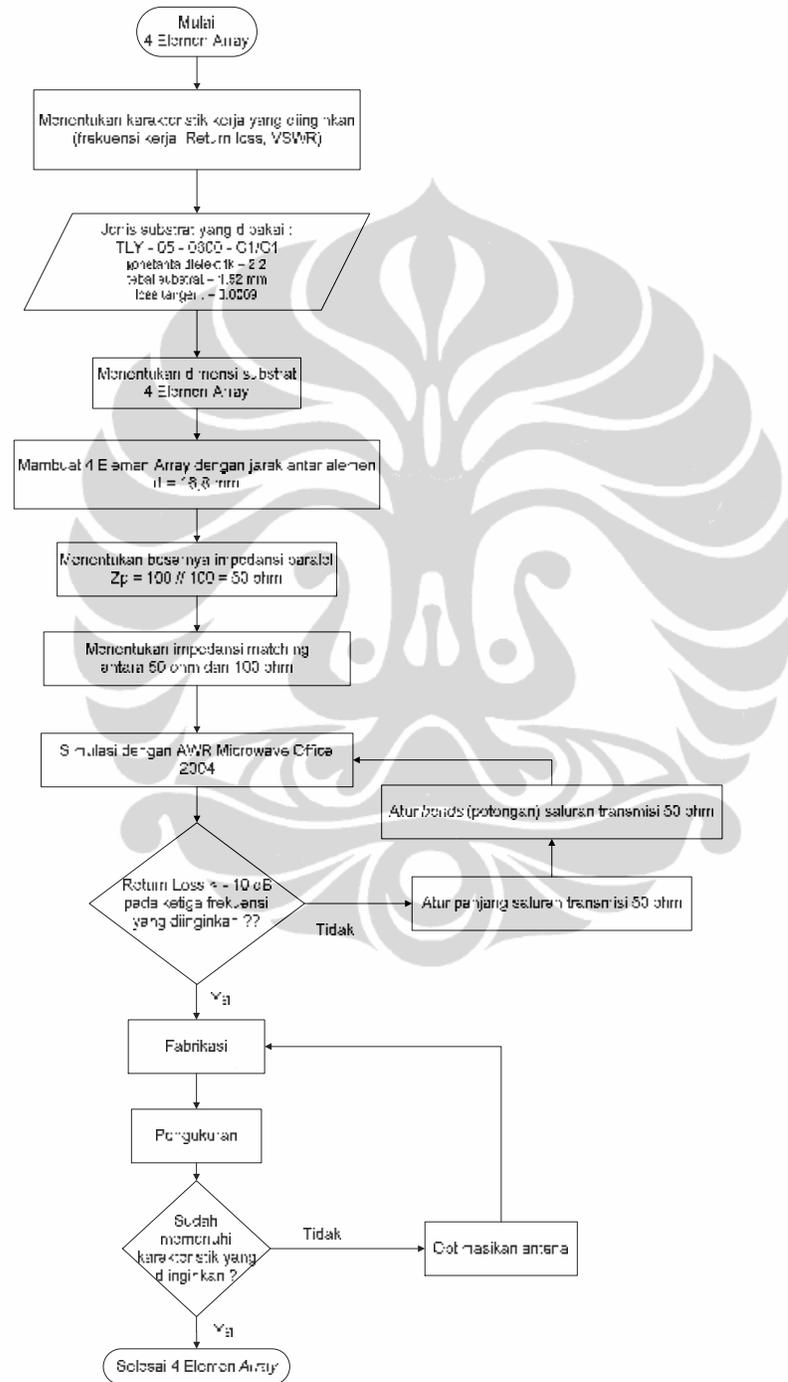
Setelah proses fabrikasi, maka akan dilakukan pengukuran antenna. Apabila dalam pengukuran tidak memperoleh hasil yang diinginkan, maka perlu dilakukan optimasi antenna seperti : merapatkan substrat, mengurangi timah solder, dan sebagainya.

Setelah perancangan *single* elemen selesai, dilanjutkan dengan merancang antenna mikrostrip *array* 2 elemen. Tahapan perancangan antenna mikrostrip *array* 2 elemen diperlihatkan pada diagram alir (*flowchart*) Gambar 3.2.



**Gambar 3.2** Diagram alir perancangan antenna mikrostrip *array* 2 elemen

Setelah antenna mikrostrip *array* 2 elemen selesai dirancang, kemudian dilanjutkan dengan merancang antenna mikrostrip *array* 4 elemen. Tahapan *perancangan* antenna mikrostrip *array* 4 elemen diperlihatkan pada diagram alir (*flowchart*) Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Diagram alir perancangan antenna mikrostrip *array* 4 elemen

### 3.4 PERANCANGAN ANTENA

Tahapan perancangan antenna pertama kali adalah menentukan karakteristik antenna yang diinginkan, dimana telah diperlihatkan diagram alir pada sub bab 3.2. Karakteristik antenna yang dimaksud yaitu frekuensi kerja, *return loss* / VSWR, dan gain. Pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan karakteristik hasil yang diinginkan yaitu :

1. Frekuensi kerja : • 2,3 GHz (2,3-2,4 GHz)  
• 3,3 GHz (3,3-3,4 GHz)  
• 5,8 GHz (5,725 - 5850 GHz)
2. Impedansi terminal : 50  $\Omega$  koaksial konektor SMA
3. VSWR :  $\leq 2$
4. Gain :  $> 5$  dBi

Setiap substrat memiliki parameter yang berbeda-beda. Oleh karena itu, perlu ditentukan terlebih dahulu jenis substrat yang akan digunakan sebagai Antenna mikrostrip. Jenis substrat yang digunakan adalah Taconic TLY-5-0600-C1/C1 dengan parameter sebagai berikut :

Tabel 3.1 Parameter substrat Taconic TLY-5-0600-C1/C1

Parameter	Nilai
Jenis substrat	TLY-5-0600-C1/C1
Konstanta dielektrik relatif ( $\epsilon_r$ )	2.2 +/- 0.02
Tebal dielektrik ( <i>thickness</i> )	1.52 mm
Rugi tangensial ( $\tan \delta$ )	0,0009
Tebal elemen penghantar	0,03556 mm
Konduktivitas Termal (pada suhu 99° C)	0,22 W/m/K

Ketebalan substrat akan mempengaruhi *bandwidth* dan gelombang permukaan (*surface wave*) [10]. Semakin kecil tebal substrat maka efek gelombang permukaan semakin kecil. Dengan mengecilnya gelombang permukaan diharapkan dapat

meningkatkan kinerja antenna seperti : gain, efisiensi, dan *bandwidth*. Konstanta dielektrik relatif ( $\xi_r$ ) akan mempengaruhi terjadinya gelombang permukaan. Namun dengan semakin kecilnya konstanta dielektrik, maka ukuran *patch* dan saluran pencatu mikrostrip yang dibutuhkan akan semakin luas, karena ukuran *patch* dan saluran mikrostrip berbanding terbalik dengan konstanta dielektrik.

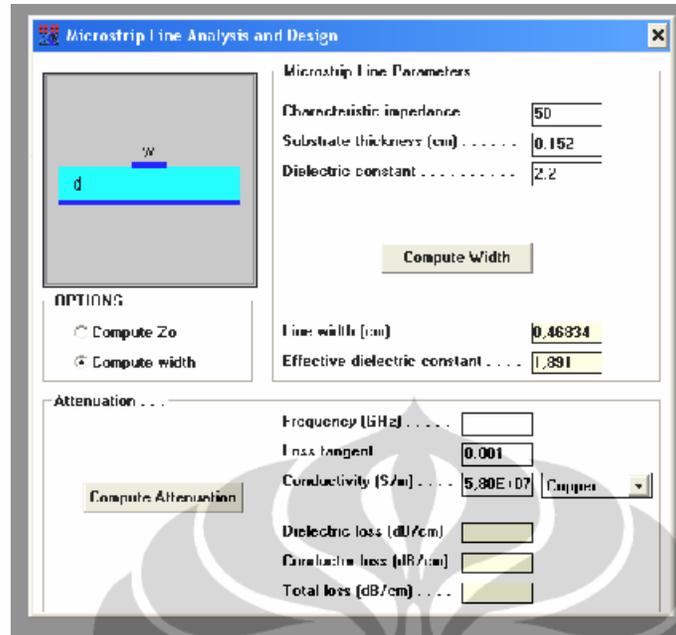
Bentuk dan ukuran *patch* elemen tidak ada yang diubah karena tujuan Tesis ini adalah merancang antenna *array* 4 elemen dari *single* elemen yang sudah ada [12], hanya saja pada bagian *patch* diperhitungkan jarak antar elemen dimana dengan metode *array* diharapkan dapat meningkatkan kinerja antenna.

### **3.5 PERANCANGAN SALURAN PENCATU MIKROSTRIP**

Teknik pencatuan yang digunakan pada penelitian ini menggunakan *electromagnetically coupled*, sehingga dibutuhkan 2 buah substrat identik yang terdiri dari substrat atas untuk antenna (*single layer*) dan substrat bawah untuk saluran pencatu (*double layer*). Teori mengenai saluran pencatu mikrostrip telah dijelaskan pada sub bab 2.5. dalam perancangan antenna mikrostrip *array* linear 4 elemen menggunakan tiga buah impedansi saluran pencatu yaitu : 50  $\Omega$ , 70.7  $\Omega$ , dan 100  $\Omega$ .

#### **3.5.1 Perancangan Saluran Pencatu Mikrostrip 50 $\Omega$**

Pada saat pengukuran, pencatu antenna mikrostrip akan dihubungkan dengan konektor SMA 50  $\Omega$ . Dengan demikian dalam perancangan pencatu antenna mikrostrip perlu impedansi masukan ( $Z_{in}$ ) 50  $\Omega$ . Untuk mendapatkan nilai impedansi saluran pencatu 50  $\Omega$ , dapat dilakukan dengan mencari lebar saluran pencatu. Dengan menggunakan perangkat lunak PCAAD 5.0 dan memasukkan beberapa parameter yang dibutuhkan, maka secara otomatis akan diketahui nilai lebar impedansi 50  $\Omega$ . Pada Gambar 3.4 merupakan tampilan dari perangkat lunak PCAAD 5.0.

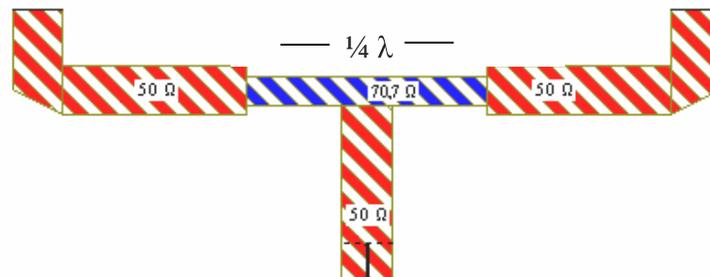


Gambar 3.4 Tampilan PCAAD 5.0 untuk mencari lebar saluran pencatu 50  $\Omega$

Seperti terlihat pada Gambar 3.4, maka didapatkan lebar saluran transmisi sebesar 0,46834 cm = 4,68 mm. Karena perancangan menggunakan perangkat lunak AWR *Microwave Office* 2004 dengan *grid / cell size* sebesar 0.4, maka lebar saluran transmisi 50  $\Omega$  dibulatkan menjadi 4,8 mm.

### 3.5.2 Perancangan Saluran Pencatu Mikrostrip 70,7 $\Omega$

Pada perancangan antenna mikrostrip *array* linear 2 elemen, bentuk *array* yang digunakan adalah seperti huruf T (*T-Junction*) yang disebut sebagai *parallel feed* atau *corporate feed*, dengan dua saluran mikrostrip yaitu 50  $\Omega$  dan 70,7  $\Omega$ . *T-Junction* umumnya dipakai sebagai pembagi daya (*power divider*) dalam antenna *array*. Gambar 3.5 merupakan bentuk dari *T-Junction*.



Gambar 3.5 *T-Junction*

Transformator  $\lambda/4$  adalah suatu teknik *impedance matching* dengan cara memberikan saluran transmisi dengan impedansi  $Z_T$  di antara dua saluran transmisi yang tidak *match*. Saluran pencatu mikrostrip  $70,7 \Omega$  merupakan transformator  $\lambda/4$  antara saluran pencatu  $100 \Omega$  dan  $50 \Omega$ . Nilai impedansi transformator  $\lambda/4$  ini diperoleh dari persamaan 2.14, sebagai berikut :

$$Z_T = \sqrt{Z_1 \times Z_3} = \sqrt{50 \times 100} = 70,7 \text{ ohm}$$

Lebar saluran pencatu mikrostrip  $70,7 \Omega$  dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2.6, dan 2.8, sebagai berikut :

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

$$\begin{aligned} B &= \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \\ &= \frac{60\pi^2}{70,7 \sqrt{2,2}} \\ &= 5,65 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W &= \frac{2 \times 0,00152}{\pi} \left\{ 5,65 - 1 - \ln(2 \times 5,65 - 1) + \frac{2,2 - 1}{2 \times 2,2} \left[ \ln(5,65 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{2,2} \right] \right\} \\ &= 0,0028 \text{ m} \\ &= 2,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dengan demikian lebar saluran pencatu mikrostrip  $70,7 \Omega$  didapatkan sebesar  $2,8 \text{ mm}$ . tahapan berikutnya adalah mencari panjang saluran pencatu mikrostrip  $70,7 \Omega$ . Sebelumnya periksa terlebih dahulu perbandingan lebar saluran pencatu mikrostrip  $70,7 \Omega$  terhadap tebal substrat ( $W/h$ ).

$$\frac{W}{h} = \frac{2,8}{1,52} = 1,84 > 1$$

Karena  $W/h > 1$ , maka nilai konstanta dielektrik efektif ( $\epsilon_{eff}$ ) menggunakan persamaan 2.11, sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\epsilon_{eff} &= \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}} \right] \\ &= \frac{2,2 + 1}{2} + \frac{2,2 - 1}{2} \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + 12(1.52/2.8)}} \right] \\ &= 1,6 + 0,6 \left( \frac{1}{2,741} \right) \\ &= 1,6 + 0,2189 \\ &= 1,818\end{aligned}$$

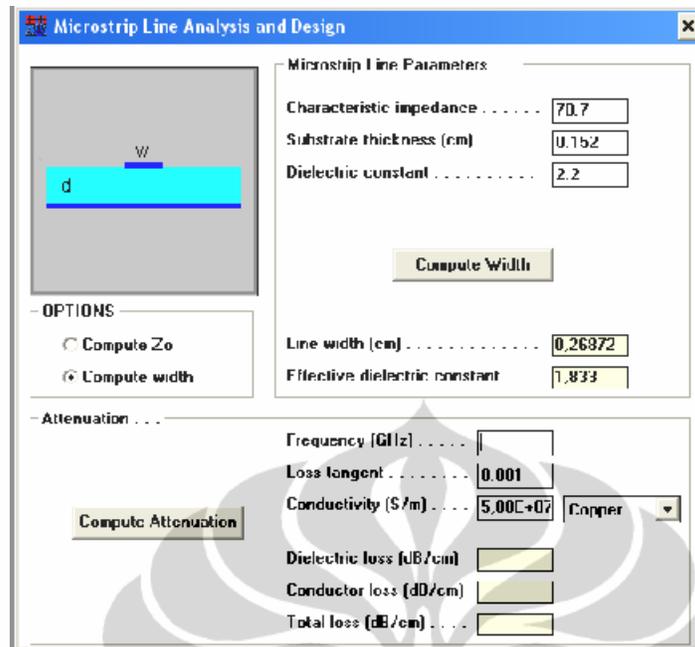
Dari persamaan 2.13, diperoleh :

$$\begin{aligned}\lambda_g &= \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \\ \lambda_0 &= \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{2,4 \text{ GHz}} = \frac{300}{2,4} \text{ mm} = 125 \text{ mm} \\ \lambda_g &= \frac{125}{\sqrt{1,818}} = 92,70 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka panjang saluran pencatu mikrostrip  $70,7 \Omega$  adalah

$$\begin{aligned}l &= \frac{\lambda_g}{4} \\ &= \frac{92,70}{4} = 23,175 \text{ mm}\end{aligned}$$

Cara lain mendapatkan lebar saluran pencatu mikrostrip  $70,7 \Omega$  yang lebih efektif dan akurat dapat menggunakan perangkat lunak PCAAD 5.0.



Gambar 3.6 Tampilan PCAAD 5.0 untuk mencari lebar saluran dan  $\xi_{\text{eff}}$  pencatu 70,7  $\Omega$

Pada Gambar 3.6 diperoleh lebar pencatu saluran mikrostrip 70,7  $\Omega$  sebesar 2,68 mm. Namun untuk menyesuaikan dengan ukuran *grid / cell size* yang digunakan pada program AWR *Microwave Office 2004* maka lebar ini dibulatkan menjadi 2,8 mm. Selain mendapatkan lebar saluran pencatu mikrostrip 70,7  $\Omega$  juga diperoleh konstanta dielektrik efektif ( $\xi_{\text{eff}}$ ) senilai 1,833. konstanta dielektrik ini digunakan untuk menghitung panjang pencatu saluran mikrostrip 70,7  $\Omega$  sesuai dengan persamaan 2.13.

$$\begin{aligned} \lambda g &= \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \\ &= \frac{125}{\sqrt{1,833}} = 92,32 \text{ mm} \end{aligned}$$

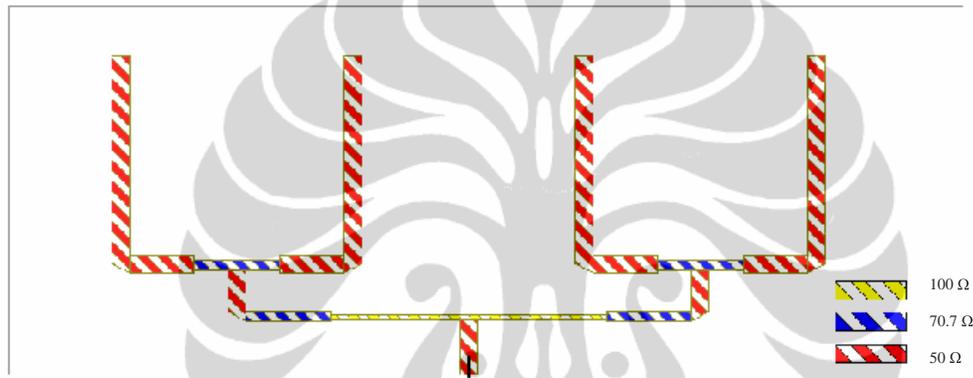
Sehingga diperoleh panjang saluran pencatu mikrostrip 70,7  $\Omega$  adalah

$$\begin{aligned} l &= \frac{\lambda g}{4} \\ &= \frac{92,32}{4} = 23,08 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena menyesuaikan dengan ukuran *grid* 0,4 yang digunakan pada program AWR *Microwave Office 2004* maka panjang ini dibulatkan menjadi 23,2 mm.

### 3.5.3 Perancangan Saluran Pencatu Mikrostrip 100 Ω

Saluran pencatu ini digunakan untuk perancangan antenna *array* linear 4 elemen, yang ditempatkan paralel dari saluran pencatu 50 Ω. Bentuk pencatu yang digunakan dalam perancangan antenna *array* linear 4 elemen masih menggunakan bentuk *T-Junction* / *parallel feed* seperti pada antenna *array* linear 2 elemen. Namun yang membedakan adalah pada antenna *array* linear 4 elemen menggunakan tiga buah saluran pencatu mikrostrip yaitu 50 Ω, 70,7 Ω, dan 100 Ω. Bentuk pencatu antenna *array* linear 4 elemen diperlihatkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Patch antenna mikrostrip *array* linear 4 elemen

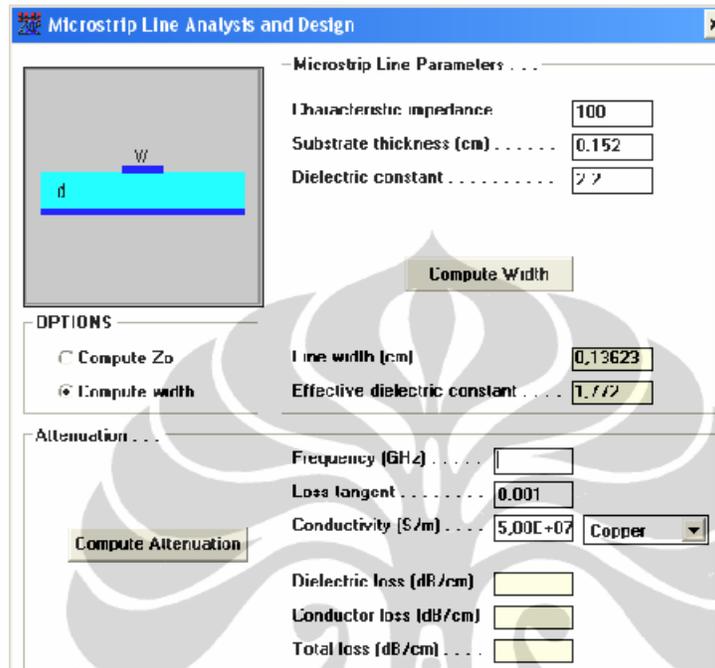
Lebar saluran pencatu mikrostrip 100 Ω dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2.6, 2.7, dan 2.8, sebagai berikut :

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

$$\begin{aligned} B &= \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \\ &= \frac{60\pi^2}{100\sqrt{2,2}} \\ &= 3,99 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W &= \frac{2 \times 0,00152}{\pi} \left\{ 3,99 - 1 - \ln(2 \times 3,99 - 1) + \frac{2,2 - 1}{2 \times 2,2} \left[ \ln(3,99 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{2,2} \right] \right\} \\ &= 0,00133 \text{ m} \\ &= 1,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan nilai lebar saluran pencatu mikrostrip 100  $\Omega$  lebih efektif dan akurat, dapat menggunakan program PCAAD 5.0, yang ditampilkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Tampilan PCAAD 5.0 untuk mencari lebar saluran pencatu 70,7  $\Omega$

Dapat dilihat dari Gambar 3.8 bahwa lebar saluran pencatu mikrostrip 100  $\Omega$  adalah 1,36 mm. Ukuran tersebut jika disesuaikan dengan *grid* 0,4 pada simulasi menggunakan program AWR *Microwave Office* 2004 akan dibulatkan menjadi 1,6 mm.

### 3.6 PERANCANGAN JARAK ANTAR ELEMEN

Jarak antar elemen dalam perancangan antenna mikrostrip *array* perlu diatur agar sesama elemen yang berdekatan tidak saling tumpang tindih. Apabila jarak antar elemen terlalu dekat atau lebih kecil dari dua kali tebal substrat maka dikhawatirkan akan terjadi *electromagnetically coupled*. Sebaliknya jika jarak antar elemen terlalu jauh maka akan banyak rugi-rugi / *loss* dan penggunaan dimensi substrat menjadi kurang efisien. Untuk itu jarak antar elemen diatur optimum agar tidak mengurangi kinerja antenna. Jarak antar elemen diukur dari titik pusat elemen ke titik pusat elemen yang berdekatan. Elemen yang dipakai dalam penelitian ini memiliki dimensi 48,8 x 46,4 mm (vertikal x

horizontal). Karena elemen disusun secara linear horizontal maka panjang elemen horizontal dijadikan sebagai acuan jarak antar elemen.

Penelitian ini telah melakukan pengujian dengan mengambil beberapa jarak antar elemen yaitu :  $0,4 \lambda$  ;  $0,5 \lambda$  ;  $0,6 \lambda$  ;  $0,7 \lambda$  ;  $0,8 \lambda$  ;  $0,9 \lambda$  ; dan  $\lambda$  yang diperlihatkan pada Lampiran 6. Dari beberapa hasil pengujian, didapatkan jarak antar elemen yang paling optimal adalah sekitar  $0,5 \lambda$ . Dalam perhitungan jarak antar elemen ( $d$ ), frekuensi yang digunakan adalah 2,4 GHz. Hal ini dikarenakan frekuensi tersebut berada pada antena dominan (antena U 2,3 GHz) yang memiliki nilai *return loss* terbaik (grafik *return loss single* elemen dapat dilihat di bab 4).

$$\begin{aligned}d &= \frac{\lambda}{2} \\ &= \frac{c}{2f} \\ &= \frac{3 \times 10^8}{2 \times 2,4 \times 10^9} \\ &= 62,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

Hasil di atas merupakan jarak antar elemen yang diukur dari titik pusat elemen ke titik pusat elemen yang berdekatan. Karena panjang horizontal elemen 46,4 mm, maka jarak sisi antar elemen adalah :

$$\hat{d} = d - 46,4 \text{ mm} = 62,5 - 46,4 = 16,1 \text{ mm}$$

Setelah melakukan beberapa iterasi, jarak sisi antar elemen yang optimum adalah 16,8 mm atau jarak antar elemen  $d = 63,2 \text{ mm}$  ( $0,5056 \lambda$ ).

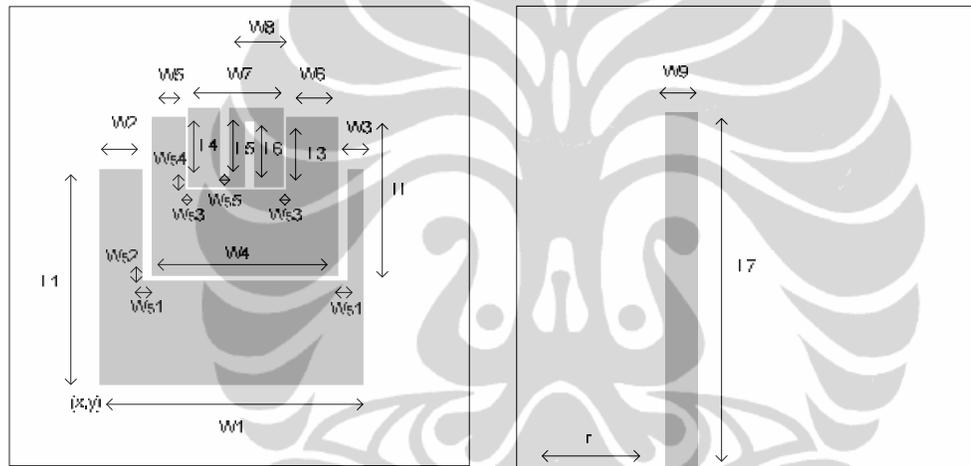
### 3.7 KARAKTERISASI PANJANG SALURAN CATU DAN *BENDS*

Tahapan selanjutnya adalah melakukan karakterisasi terhadap panjang saluran pencatu untuk *array* 2 elemen (Lampiran 6.2). Dari beberapa iterasi, didapatkan karakterisasi yang hampir diinginkan. Kemudian tahapan terakhir dari *array* 2 elemen adalah melakukan karakterisasi pemotongan (*bends*) saluran catu (Lampiran 6.3) sehingga didapatkan hasil yang diinginkan. Dalam perancangan *array* 4 elemen, digunakan cara yang sama seperti *array* 2 elemen. Karakterisasi *array* 4 elemen dapat dilihat pada Lampiran 7.

### 3.8 HASIL AKHIR PERANCANGAN

Setelah menentukan karakteristik kerja yang diinginkan, jenis dan dimensi substrat, impedansi saluran pencatu mikrostrip, dan jarak antar elemen selanjutnya akan disempurnakan lagi dengan program *AWR Microwave Office 2004*. sehingga hasil simulasi seperti *return loss*, *VSWR*, impedansi karakteristik, dan pola radiasi yang diinginkan tercapai.

#### 3.8.1 Hasil Akhir Perancangan Antena Mikrostrip 1 Elemen

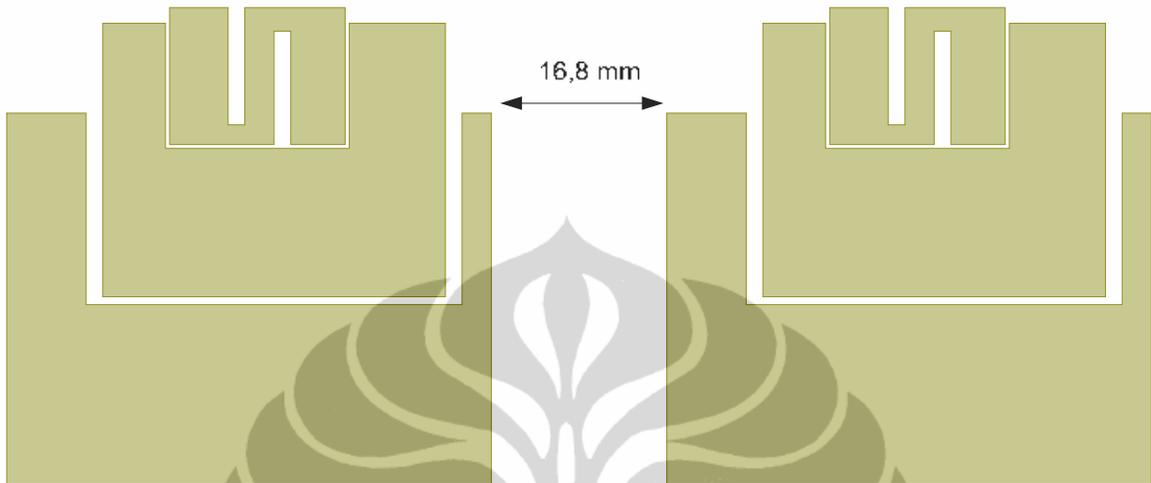


Gambar 3.9 Antena mikrostrip 1 elemen 70 x 70 mm

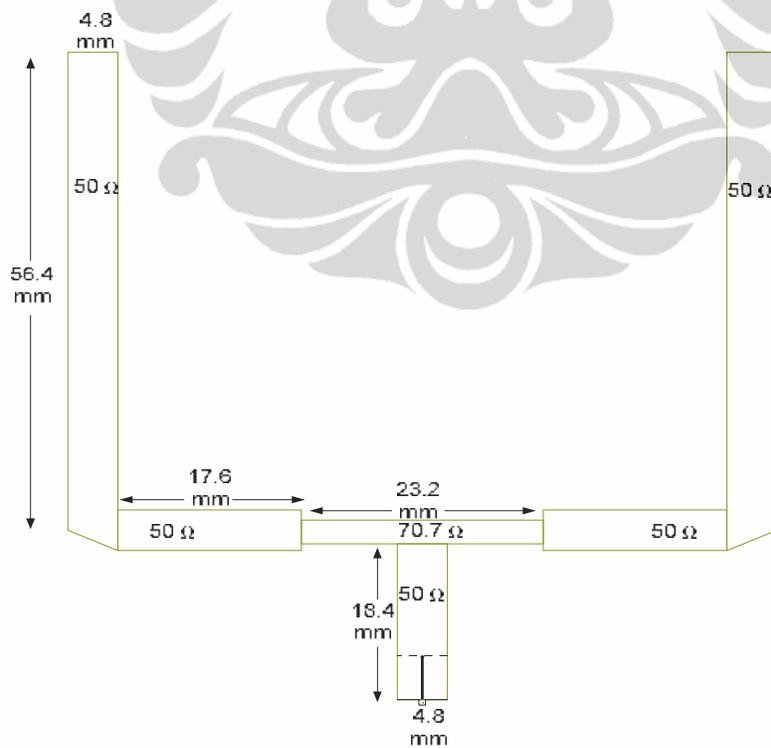
Tabel 3.2 Nilai parameter antena mikrostrip

Parameter	panjang (mm)	Parameter	panjang (mm)
W1	46.4	L4	14
W2	7.6	L5	12
W3	2.8	L6	11.6
W4	32.8	L7	56.4
W5	6	Ws1	1.6
W6	9.2	Ws2	0.8
W7	16.8	Ws3	0.4
W8	9.6	Ws4	0.4
W9	4.8	Ws5	1.6
L1	38.2	r	27.6
L2	28	X	11.6
L3	12.8	Y	16.4

### 3.8.2 Hasil Akhir Perancangan Antena Mikrostrip *Array* 2 Elemen

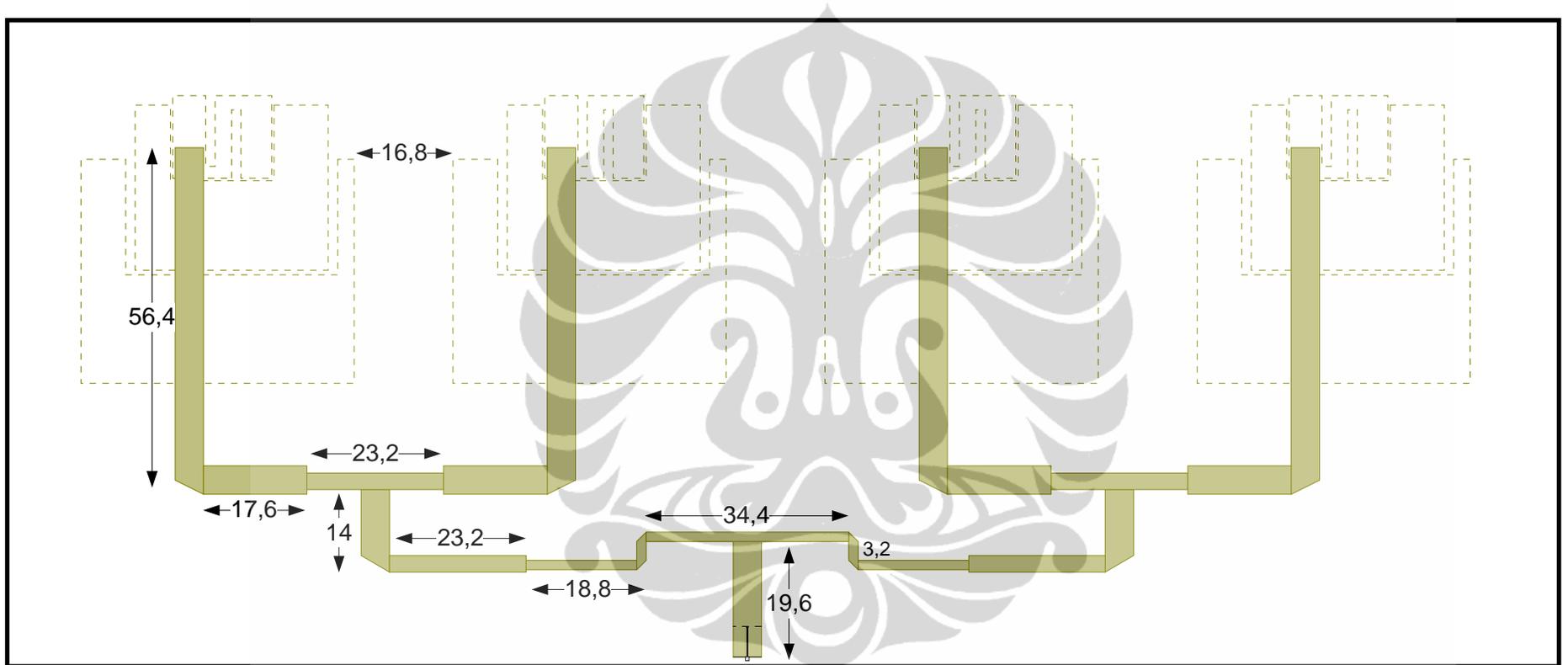


Gambar 3.10 Antena mikrostrip *array* linear 2 elemen (substrat atas) 132 x 90 mm



Gambar 3.11 Antena mikrostrip *array* linear 2 elemen (substrat bawah) 132 x 90 mm

### 3.8.3 Hasil Akhir Perancangan Antena Mikrostrip Array 4 Elemen



Gambar 3.12 Antena mikrostrip array linear 4 elemen berdimensi 260 x 100 mm

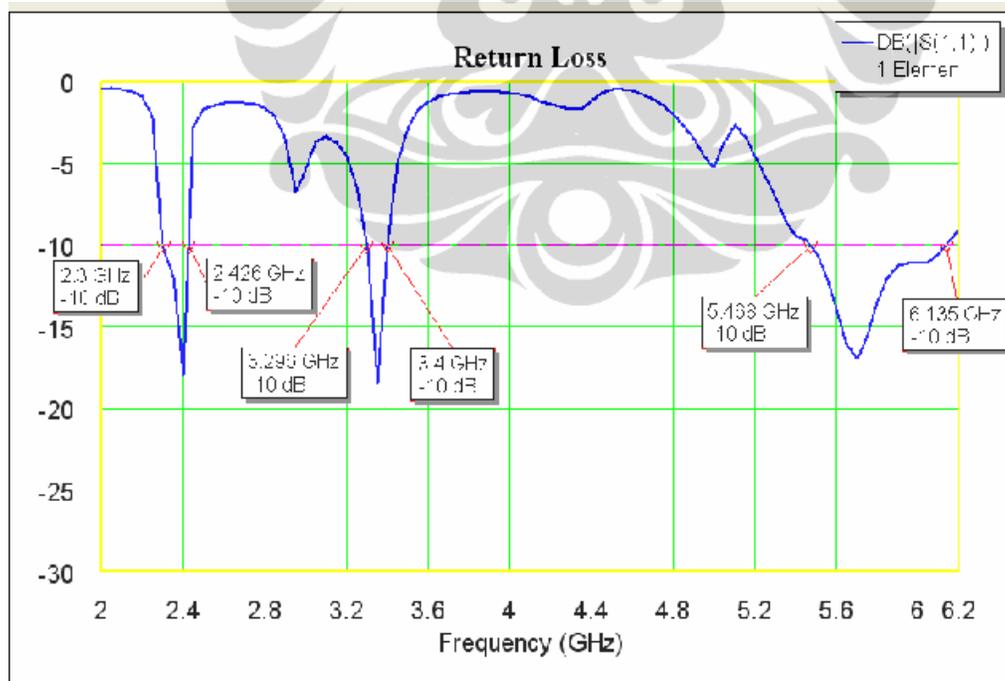
### 3.9 HASIL SIMULASI MENGGUNAKAN AWR *MICROWAVE OFFICE 2004*

Setelah model antenna selesai dirancang, maka dilakukan proses simulasi dengan menggunakan perangkat lunak *AWR Microwave Office 2004*. Saat simulasi, dilakukan perubahan dimensi substrat, posisi *patch*, jarak antar elemen, dan panjang pencatu saluran antenna agar mendapatkan hasil yang diinginkan. Hasil yang disimulasikan, terdiri dari : *return loss*, VSWR, dan pola radiasi. Hasil tersebut akan diperlihatkan satu per satu untuk tiga buah antenna mikrostrip *triple-band* pada WiMAX yaitu antenna : 1 elemen, *array 2* elemen, dan *array 4* elemen.

#### 3.9.1 Hasil Simulasi Antena Mikrostrip 1 Elemen

Parameter-parameter yang disimulasikan pada antenna mikrostrip *single* elemen yaitu *return loss*, VSWR, dan pola radiasi.

Grafik *return loss* antenna mikrostrip *single* elemen diperlihatkan pada Gambar 3.13.



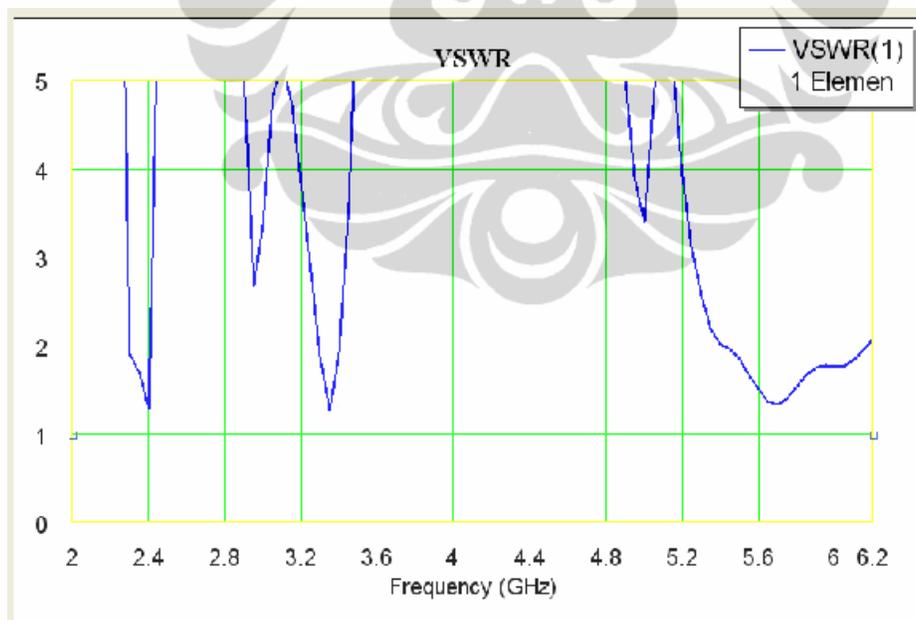
Gambar 3.13 Grafik *Return loss* antenna mikrostrip 1 elemen

Dari grafik simulasi *return loss* pada Gambar 3.13 dapat dilihat bahwa perancangan antenna dapat meresonansikan tiga frekuensi (*triple-band*). Frekuensi kerja yang didapatkan juga telah memenuhi frekuensi kerja yang diinginkan. Hal ini dapat dilihat dari frekuensi yang mempunyai *return loss* dibawah -10 dB bekerja pada tiga frekuensi (*triple-band*), yaitu pada frekuensi 2,3 GHz (2,3 – 2,4 GHz), 3,3 GHz (3,3 – 3,4 GHz), dan 5,8 GHz (5,725 – 5,85 GHz) yang merupakan frekuensi operasi pada WiMAX. Analisis yang dapat diambil dari simulasi *return loss* di atas diperlihatkan pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3 Analisis *return loss* pada antenna single elemen**

Frekuensi (GHz)	Rentang Frekuensi	Impedansi Bandwidth	<i>Return loss</i> terbaik
2,3	2,3 - 2,42 GHz	126 MHz (5,25 %)	-17,99 dB
3,3	3,29 - 3,4 GHz	104 MHz (3,10 %)	-18,5 dB
5,8	5,46 - 6,13 GHz	667 MHz (11,7 %)	-16,95 dB

Grafik VSWR untuk antenna mikrostrip *single* elemen diperlihatkan pada Gambar 3.14

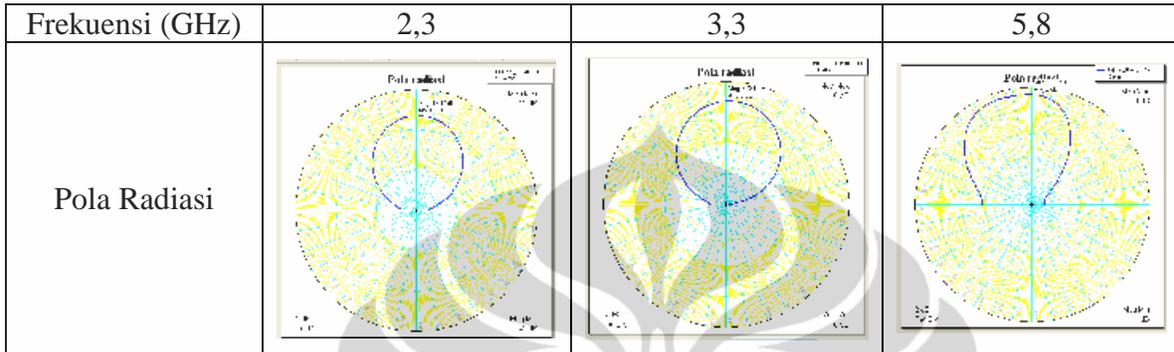


**Gambar 3.14 Grafik VSWR antenna mikrostrip 1 elemen**

Nilai VSWR yang digunakan dalam penelitian ini adalah lebih kecil dari 2 ( $VSWR < 2$ ). Dari kedua Gambar grafik VSWR terlihat bahwa antenna acuan dan antenna mikrostrip

single elemen (baru) jika  $VSWR < 2$  maka memiliki tiga *band* frekuensi yaitu pada rentang frekuensi 2,3 GHz, 3,3 GHz, dan 5,8 GHz.

Grafik Pola radiasi antenna mikrostrip *single* elemen diperlihatkan pada Gambar 3.15 untuk ketiga frekuensi WiMAX.



Gambar 3.15 Grafik pola radiasi antenna mikrostrip single elemen

Analisis yang dapat diambil dari hasil pola radiasi adalah *magnitude*, arah / sudut berkas maksimum, serta menentukan lebar berkas (*Beamwidth*). Untuk lebih jelas, dapat dilihat pada Tabel 3.4.

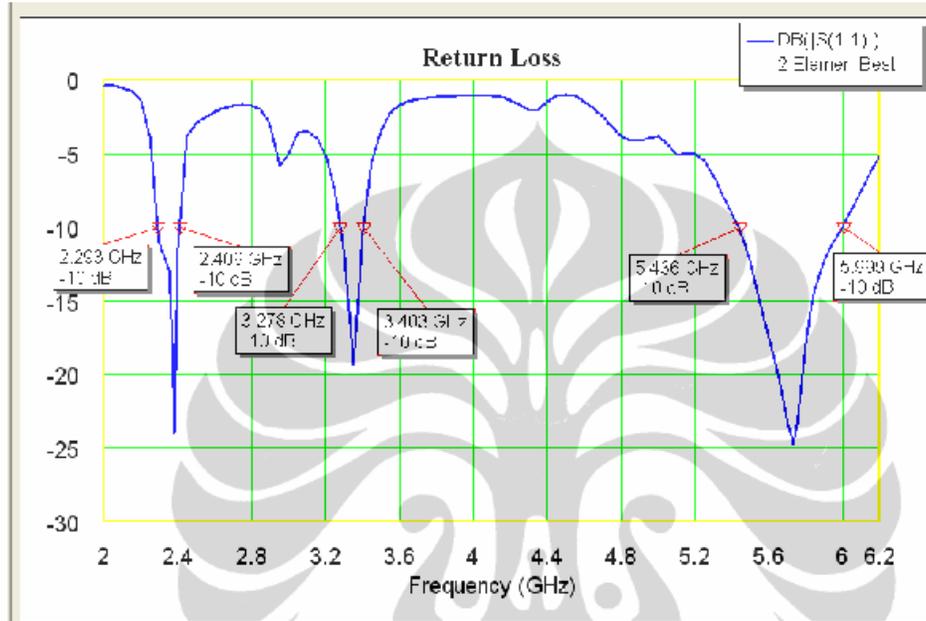
Tabel 3.4 *Magnitude*, sudut berkas maksimum, dan *beamwidth* antene *single* elemen

Parameter	Frekuensi		
	2,3 GHz	3,3GHz	5,8 GHz
<i>Magnitude &amp;</i>	6,736 dB	6,801 dB	3,404 dB
Sudut Berkas Maksimum	2°	2°	-16°
Lebar berkas ( <i>Beamwidth</i> )	79°	70°	90°

### 3.9.2 Hasil Simulasi Antena Mikrostrip *Array* 2 Elemen

Parameter-parameter yang disimulasikan pada antena mikrostrip *array* 2 elemen yaitu *return loss*, *VSWR*, dan pola radiasi.

Grafik *return loss* antena mikrostrip *array* 2 elemen diperlihatkan pada Gambar 3.16.



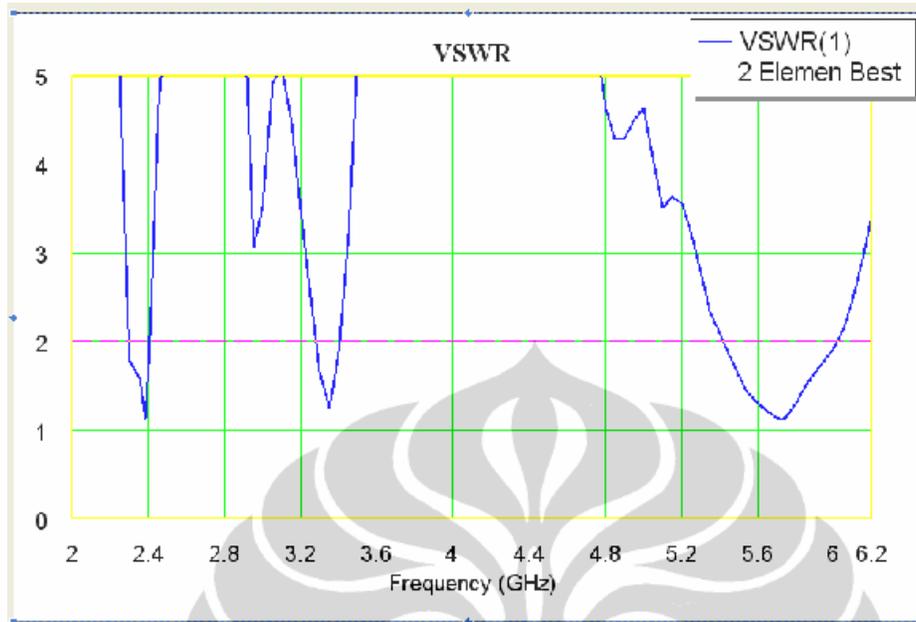
Gambar 3.16 Grafik *Return loss* antena mikrostrip *array* 2 elemen

Hasil simulasi *return loss* pada Gambar 3.18 di atas terlihat bahwa perancangan antena mikrostrip *array* 2 elemen dapat meresonansikan tiga frekuensi (*triple-band*) yaitu frekuensi 2,3 GHz (2.293 – 2,409 GHz), frekuensi 3,3 GHz (3,278 – 3,403 GHz), dan frekuensi 5,8 GHz (5,436 – 5,999 GHz) untuk nilai *return loss* < -10 dB. Analisis hasil simulasi *return loss* antena mikrostrip *array* 2 elemen ini akan diberikan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Analisis hasil simulasi *return loss* antena mikrostrip *array* 2 elemen

	Rentang Frekuensi		
	2,3 GHz	3,3 GHz	5,8 GHz
Impedansi <i>Bandwidth</i>	116 MHz (4,87 %)	125 MHz (3,73 %)	563 MHz (9,82 %)
<i>Return Loss</i> terbaik	-23,98 dB	-19,36 dB	-24,73 dB

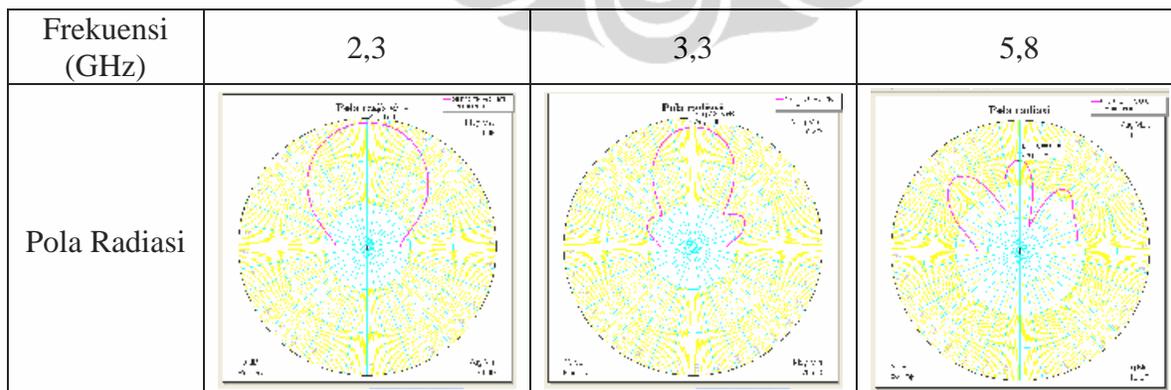
Grafik VSWR antenna mikrostrip *array* 2 elemen diperlihatkan pada Gambar 3.17.



**Gambar 3.17 Grafik VSWR antenna mikrostrip *array* 2 elemen**

Nilai VSWR yang digunakan dalam penelitian ini adalah lebih kecil dari 2 ( $VSWR < 2$ ). Dari Gambar 3.17 nilai VSWR untuk rentang frekuensi 2,3 GHz adalah 1,135. Nilai VSWR untuk rentang frekuensi 3,3 GHz adalah 1,241. Sedangkan nilai VSWR untuk rentang frekuensi 5,8 GHz adalah 1,123.

Grafik Pola radiasi antenna mikrostrip *array* 2 elemen diperlihatkan pada Gambar 3.18 untuk ketiga frekuensi WiMAX.



**Gambar 3.18 Grafik pola radiasi antenna mikrostrip *array* 2 elemen**

Analisis yang dapat diambil dari hasil pola radiasi adalah *magnitude* dan arah / sudut berkas maksimum, serta menentukan lebar berkas (*Beamwidth*). Untuk lebih jelas, dapat dilihat pada Tabel 3.6.

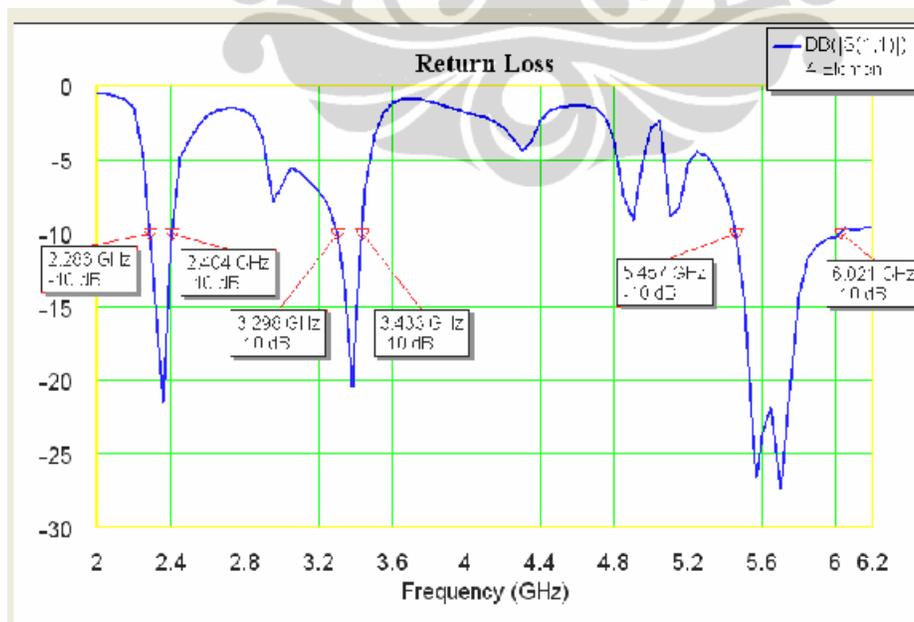
Tabel 3.6 *Magnitude*, sudut berkas maksimum, dan *beamwidth* antene *array 2* elemen

Parameter	Frekuensi		
	2,3 GHz	3,3GHz	5,8 GHz
<i>Magnitude &amp; Sudut berkas Maksimum</i>	8,937 dB 0°	7,805 dB 0°	3,875 dB -2°
Lebar berkas ( <i>Beamwidth</i> )	51°	34°	74°

### 3.9.3 Hasil Simulasi Antena Mikrostrip *Array 4* Elemen

Parameter-parameter yang disimulasikan pada antena mikrostrip *array 2* elemen yaitu *return loss*, *VSWR*, dan pola radiasi.

Grafik *return loss* antena mikrostrip *array 2* elemen diperlihatkan pada Gambar 3.19.



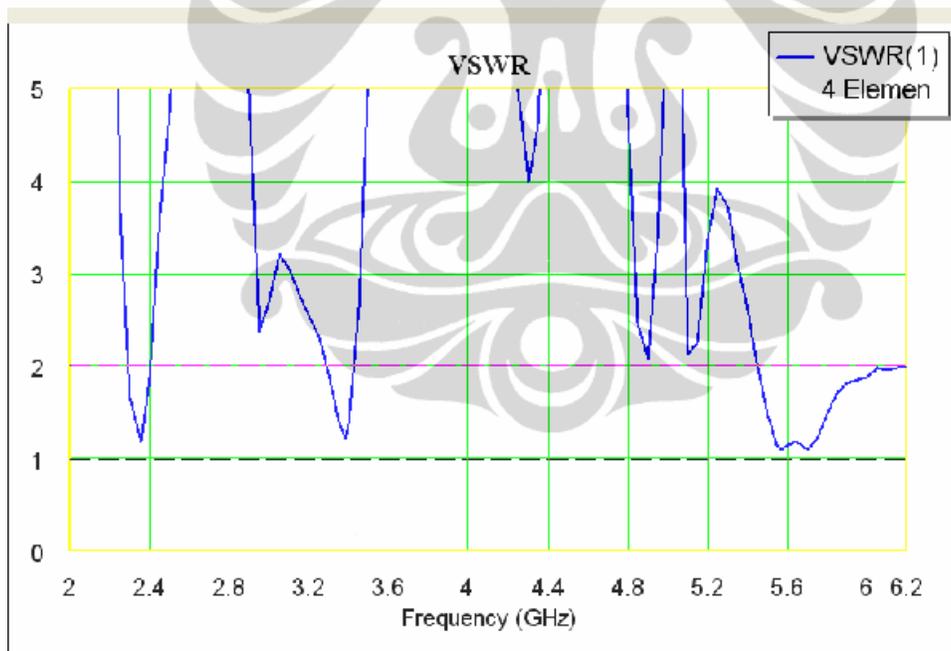
Gambar 3.19 Grafik *Return loss* antena mikrostrip *array 4* elemen

Hasil simulasi *return loss* pada Gambar 3.19 terlihat bahwa perancangan antenna mikrostrip *array* 2 elemen dapat meresonansikan tiga frekuensi (*triple-band*) yaitu frekuensi 2,3 GHz (2.286 – 2,404 GHz), frekuensi 3,3 GHz (3,298 – 3,433 GHz), dan frekuensi 5.8 GHz (5,457 – 6.021 GHz) untuk nilai *return loss* < -10 dB. Analisis hasil simulasi *return loss* antenna mikrostrip *array* 2 elemen ini akan diberikan pada Tabel 3.7.

**Tabel 3.7 Analisis hasil simulasi *return loss* antenna mikrostrip *array* 4 elemen**

	Frekuensi 2,3 GHz	Frekuensi 3,3 GHz	Frekuensi 5,8 GHz
Range frekuensi	2,286 – 2,404 GHz	3,298 – 3,433 GHz	5,457 – 6,021 GHz
Impedansi <i>Bandwidth</i>	118 MHz (5 %)	135 MHz (4 %)	564 MHz (9,89 %)
<i>Return Loss</i> terbaik	-21,52 dB	-20,51 dB	-27,42 dB

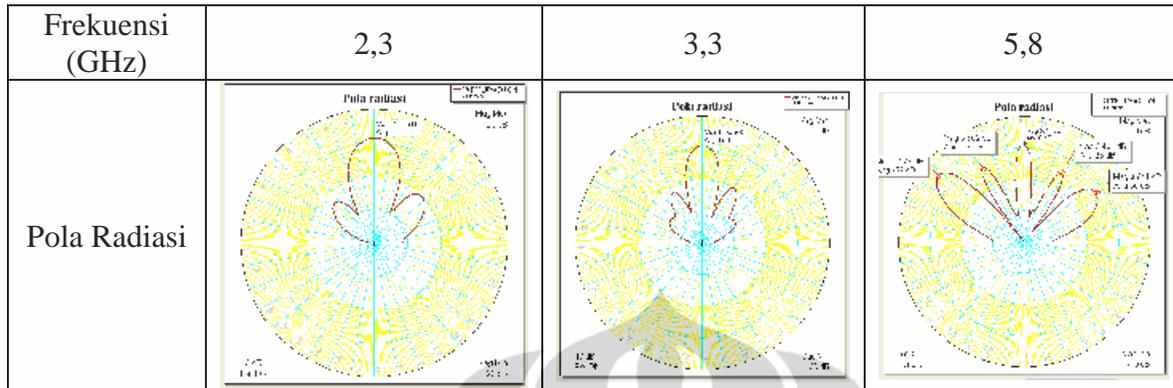
Grafik VSWR antenna mikrostrip *array* 4 elemen diperlihatkan pada Gambar 3.21



**Gambar 3.20 Grafik VSWR antenna mikrostrip *array* 4 elemen**

Nilai VSWR yang digunakan dalam penelitian ini adalah lebih kecil dari 2 ( $VSWR < 2$ ). Dari Gambar 3.20 nilai VSWR untuk rentang frekuensi 2,3 GHz adalah 1,183. Nilai VSWR untuk rentang frekuensi 3,3 GHz adalah 1,208. Sedangkan nilai VSWR untuk rentang frekuensi 5,8 GHz adalah 1,096.

Grafik Pola radiasi antenna mikrostrip *array* 4 elemen diperlihatkan pada Gambar 3.21 untuk ketiga frekuensi WiMAX.



**Gambar 3.21 Grafik pola radiasi antenna mikrostrip *array* 4 elemen**

Analisis yang dapat diambil dari hasil pola radiasi adalah *magnitude* dan arah / sudut berkas maksimum, serta menentukan lebar berkas (*Beamwidth*). Untuk lebih jelas, dapat dilihat pada Tabel 3.8.

**Tabel 3.8 *Magnitude*, sudut berkas maksimum, dan *beamwidth* antene *array* 4 elemen**

	Frekuensi Antena <i>array</i> 4 elemen		
	2,3 GHz	3,3GHz	5,8 GHz
<i>Magnitude</i> & Sudut berkas Maksimum	11,272 dB 0°	10,568 dB 0°	5,71 dB 0°
<i>Beamwidth</i>	25°	18°	9°

**Tabel 3.9 *Magnitude* pola radiasi pada sudut 0° untuk tiga buah antenna**

Frekuensi (GHz)	<i>Magnitude</i> Pola Radiasi [dB] pada sudut 0°		
	1 Elemen ( <i>single</i> )	<i>Array</i> 2 Elemen	<i>Array</i> 4 Elemen
2,3	6.732	8,93	11,27
3,3	6.781	7,80	10,57
5,8	3.36	3,85	5,71

Dari Tabel 3.9 di atas dapat disimpulkan bahwa antenna *array* 4 elemen memiliki *magnitude* lebih besar (baik) dari antenna *array* 2 elemen, dan antenna *array* 2 elemen memiliki *magnitude* lebih besar (baik) dari antenna *single* elemen.