

## BAB 4

### HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS ANTENA

Pengukuran terhadap antena dilakukan setelah antena dirancang. Pengukuran dilakukan untuk dua buah antena yaitu antena mikrostrip *array* 2 elemen dan antena mikrostrip *array* 4 elemen. Tujuan pengukuran adalah untuk mengetahui karakteristik antena yang telah dibuat, sehingga bisa diketahui parameter-parameter antena tersebut untuk kemudian dijadikan bahan perbandingan dengan hasil perhitungan secara teori dan hasil simulasi dari *software* AWR *Microwave Office* 2004. Hasil pengukuran antena juga akan digunakan sebagai tolak ukur kelayakan antena yang dirancang terhadap spesifikasi yang telah ditentukan sebelumnya kemudian akan dilakukan analisa atas penyimpangan yang terjadi.

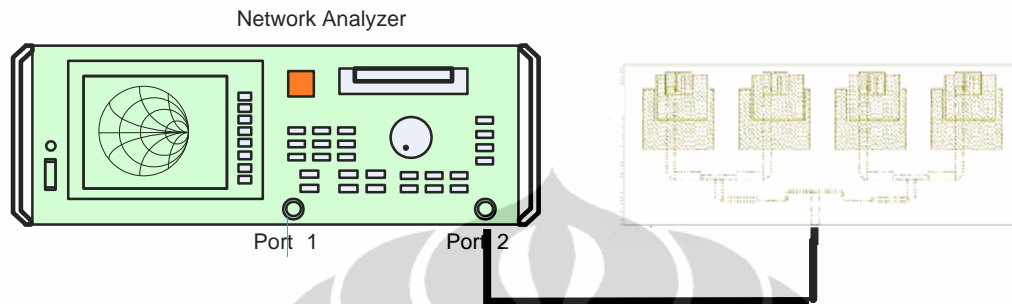
Pengukuran yang dilakukan meliputi pengukuran port tunggal (*return loss*, VSWR, dan impedansi masukan), pengukuran port ganda (pola radiasi) dan pengukuran *gain*. Pengukuran dilakukan pada ruangan *Anechoic Chamber* yang berada pada Departemen Elektro FTUI lantai 4. Ruangan ini mampu menyerap gelombang elektromagnetik sehingga mengurangi pantulan dan interferensi gelombang lain. Hal ini berguna agar tingkat keakuratan hasil pengukuran menjadi lebih presisi.

#### 4.1 PENGUKURAN PORT TUNGGAL

Parameter-parameter antena yang dapat diukur dalam pengukuran port tunggal ini meliputi pengukuran *return loss*, VSWR, dan impedansi masukan. Pengukuran parameter-parameter tersebut menggunakan alat ukur Network Analyzer 8753E. Adapun prosedur pengukuran pada Network Analyzer (NA) adalah sebagai berikut:

1. Pasang *probe* 50 ohm pada input NA lalu pilih kalibrasi pada NA. pengukuran port tunggal dilakukan pada port 2 network analyzer. Kalibrasi yang dipakai untuk melakukan pengukuran di sini adalah TUTI 3 yang diatur untuk mengukur parameter pada port 2. Kalibrasi dilakukan untuk validitas pengukuran, dengan cara membuat kondisi alat ukur sesuai standar.

2. Setelah kalibrasi selesai hubungkan konektor input 50 ohm pada antenna yang akan diukur pada *probe* yang terpasang di NA. Konfigurasi dapat dilihat pada gambar 4.1.



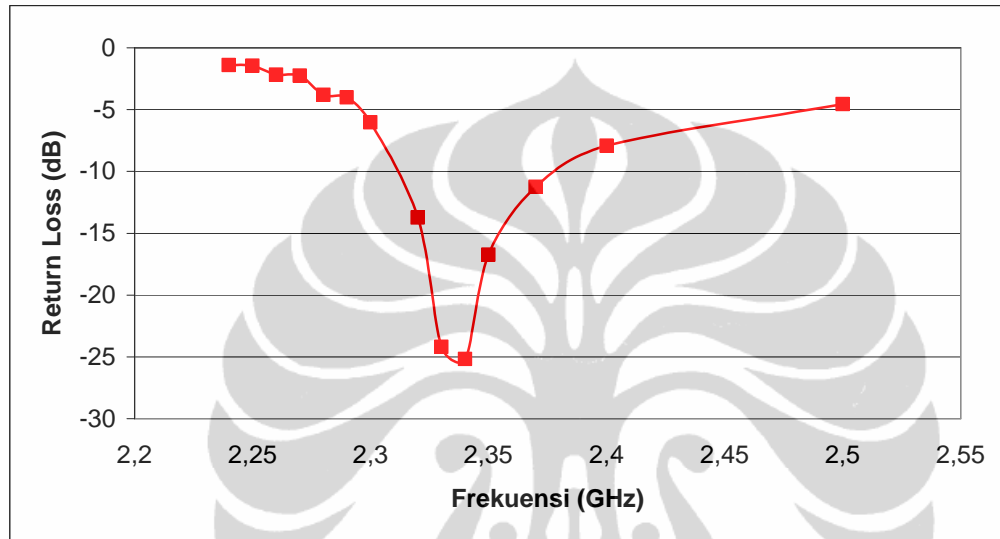
**Gambar 4.1 Konfigurasi pengukuran antenna pada Network Analyzer**

3. Untuk menampilkan rentang frekuensi sebagai pengamatan, gunakan tombol *start* dan tombol *stop* pada NA. Network Analyzer ini hanya dapat menampilkan frekuensi dari 30 KHz sampai 6 GHz.
4. Tampilkan parameter-parameter yang akan dilihat hasil pengukuran dengan menekan tombol *format* yang terdapat pada NA. Lalu pilih parameter satu persatu, tombol *log mag* untuk menampilkan grafik *return loss* terhadap frekuensi kerjanya, tombol *SWR* untuk menampilkan grafik *VSWR* terhadap frekuensi kerjanya, dan tombol *smithchart* untuk menampilkan besar impedansi pada frekuensi kerjanya. Untuk pengukuran *bandwidth* dapat dilihat dari grafik *VSWR* terhadap frekuensi kerjanya. Dalam grafik tersebut dapat dilihat frekuensi kerja untuk  $VSWR = 2$  lalu nilai-nilai frekuensi tersebut nantinya disebut frekuensi atas dan frekuensi bawah. Kedua frekuensi tersebut dikurangkan sehingga didapat selisih yang disebut *bandwidth*.
5. Ambil gambar (foto) hasil pengukuran parameter-parameter tersebut.

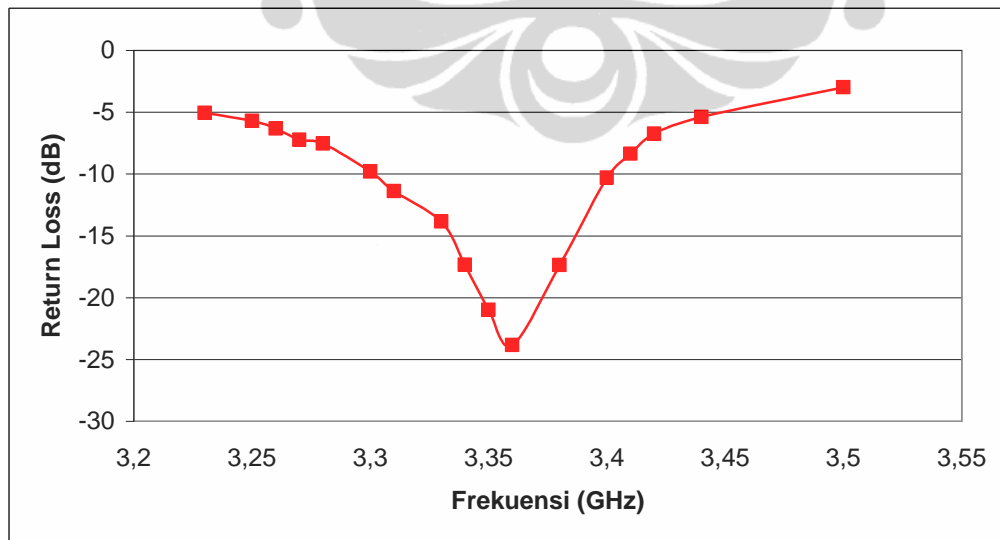
#### 4.1.1 Pengukuran Port Tunggal Antena Mikrostrip *Array* 2 Elemen

##### 4.1.1.1 Pengukuran *Return Loss* Antena Mikrostrip *Array* 2 Elemen

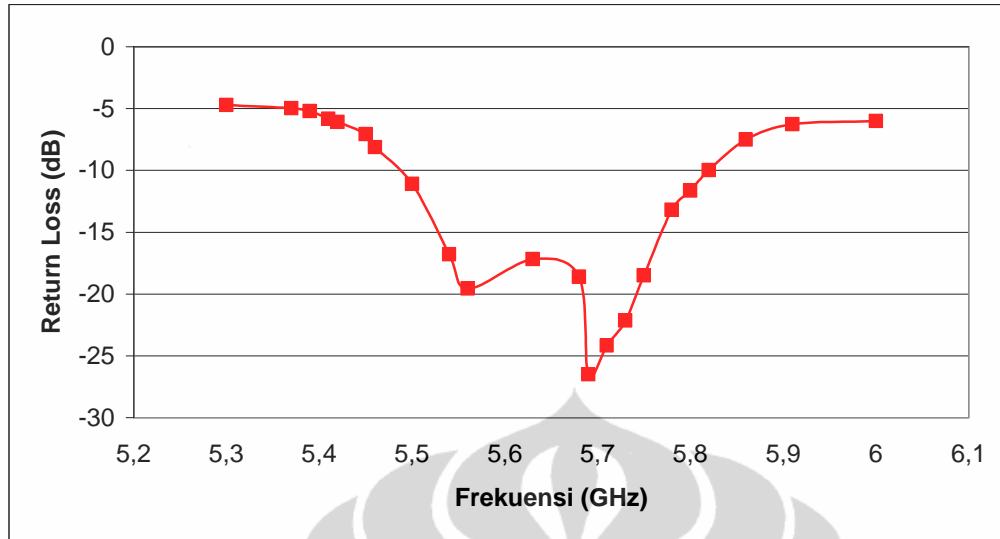
Grafik *return loss* yang didapatkan untuk ketiga frekuensi dari antena mikrostrip *array* 2 elemen yang telah diukur dapat dilihat pada Gambar 4.2 sampai 4.4.



Gambar 4.2 Grafik *return loss* antena mikrostrip *array* 2 elemen pada frekuensi 2,3 GHz



Gambar 4.3 Grafik *return loss* antena mikrostrip *array* 2 elemen pada frekuensi 3,3 GHz



**Gambar 4.4** Grafik *return loss* antenna mikrostrip array 2 elemen pada frekuensi 5,8 GHz

Dari Gambar 4.2 pada *band* frekuensi 2,3 GHz didapatkan impedansi *bandwidth* pada 2,31 – 2,38 GHz (70 MHz) dengan frekuensi kerja ( $f_r$ ) pada 2,34 GHz yang memiliki *return loss* minimum -24,52 dB. Dari data tersebut dapat dihitung besar persentase *impedance bandwidth* menggunakan persamaan 2.45, yang dituliskan kembali sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 BW &= \frac{f_h - f_l}{f_c} \times 100\% \\
 &= \frac{2,38 - 2,31}{2,33} \times 100\% \\
 &= 3\%
 \end{aligned}$$

Pada Gambar 4.3 dengan *band* frekuensi 3,3 GHz didapatkan impedansi *bandwidth* pada 3,305 – 3,4 GHz (95 MHz) dengan frekuensi kerja ( $f_r$ ) pada 3,36 GHz yang memiliki *return loss* minimum -23,85 dB. Dari data tersebut dapat dihitung besar persentase *impedance bandwidth* :

$$\begin{aligned}
 BW &= \frac{f_h - f_l}{f_c} \times 100\% \\
 &= \frac{3,4 - 3,305}{3,35} \times 100\% \\
 &= 2,83\%
 \end{aligned}$$

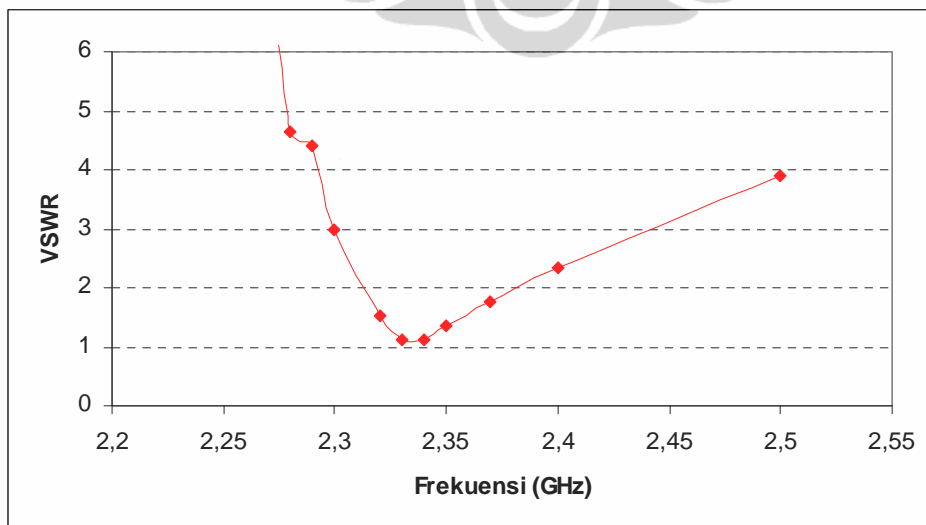
Pada Gambar 4.4 dengan *band* frekuensi 5,8 GHz didapatkan impedansi *bandwidth* pada 5,5 – 5,822 GHz (322 MHz) dengan frekuensi kerja ( $f_r$ ) pada 5,71 GHz yang memiliki *return loss* minimum -24,18 dB. Dari data tersebut dapat dihitung besar persentase *impedance bandwidth* :

$$\begin{aligned}
 BW &= \frac{f_h - f_l}{f_c} \times 100\% \\
 &= \frac{5,822 - 5,5}{5,71} \times 100\% \\
 &= 5,63 \%
 \end{aligned}$$

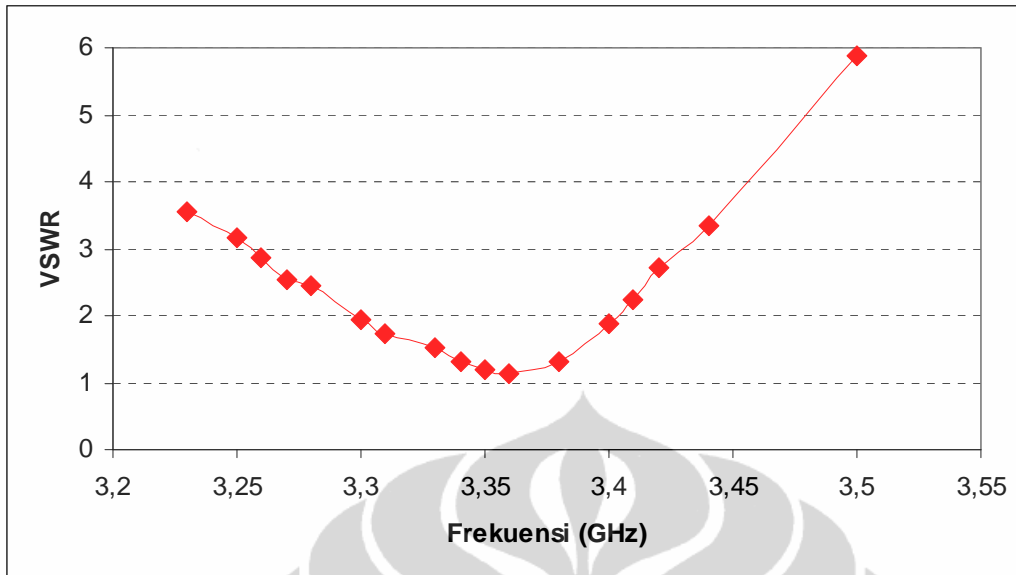
Nilai impedansi dari antenna mikrostrip *array* 2 elemen dapat dilihat pada Lampiran 1.3. Untuk *bandwidth* 2,3 GHz didapatkan nilai impedansi yang mendekati 50  $\Omega$  adalah 49,98+16,96j  $\Omega$  pada frekuensi 2,34 GHz. Untuk *bandwidth* 3,3 GHz didapatkan nilai impedansi 49,81-j8,84  $\Omega$  di frekuensi 3,36 GHz. Sedangkan untuk *bandwidth* 5,8 GHz bernilai 49,84-j8,82  $\Omega$  di frekuensi 5,71 GHz.

#### 4.1.1.2 Pengukuran VSWR Antena Mikrostrip Array 2 Elemen

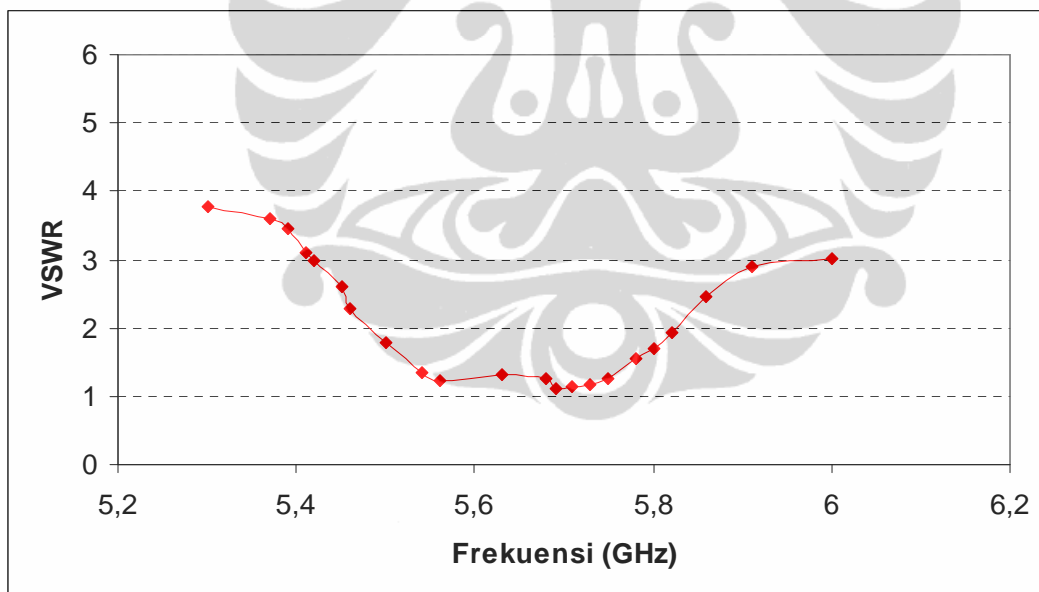
Grafik VSWR yang didapatkan untuk ketiga frekuensi dari antenna mikrostrip *array* 2 elemen yang telah diukur dapat dilihat pada Gambar 4.5 sampai 4.7.



Gambar 4.5 Grafik VSWR antenna mikrostrip *array* 2 elemen pada frekuensi 2,3 GHz



Gambar 4.6 Grafik VSWR antena mikrostrip *array* 2 elemen pada frekuensi 3,3 GHz



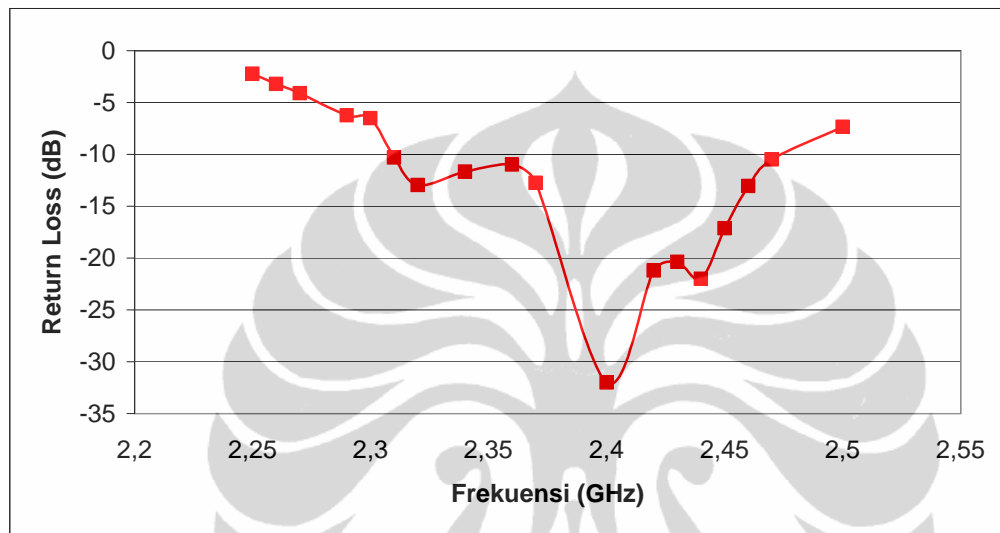
Gambar 4.7 Grafik VSWR antena mikrostrip *array* 2 elemen pada frekuensi 5,8 GHz

Pada gambar 4.7, nilai VSWR untuk rentang frekuensi 2,3 GHz adalah 1,11. Pada gambar 4.8, nilai VSWR untuk rentang frekuensi 3,3 GHz adalah 1,13. Sedangkan nilai VSWR untuk rentang frekuensi 5,8 GHz adalah 1,206 (Gambar 4.7).

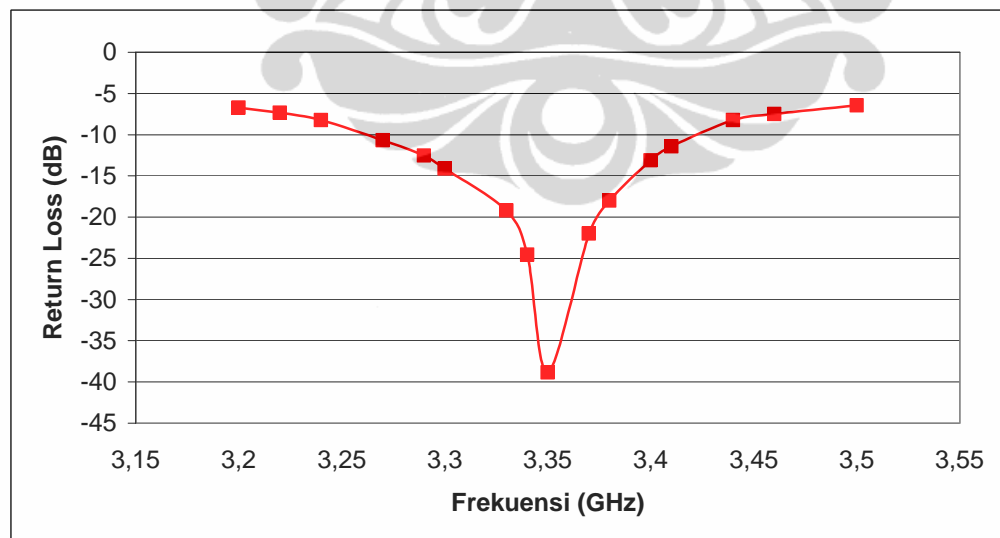
#### 4.1.2 Pengukuran Port Tunggal Antena Mikrostrip *Array* 4 Elemen

##### 4.1.2.1 Pengukuran *Return Loss* Antena Mikrostrip *Array* 4 Elemen

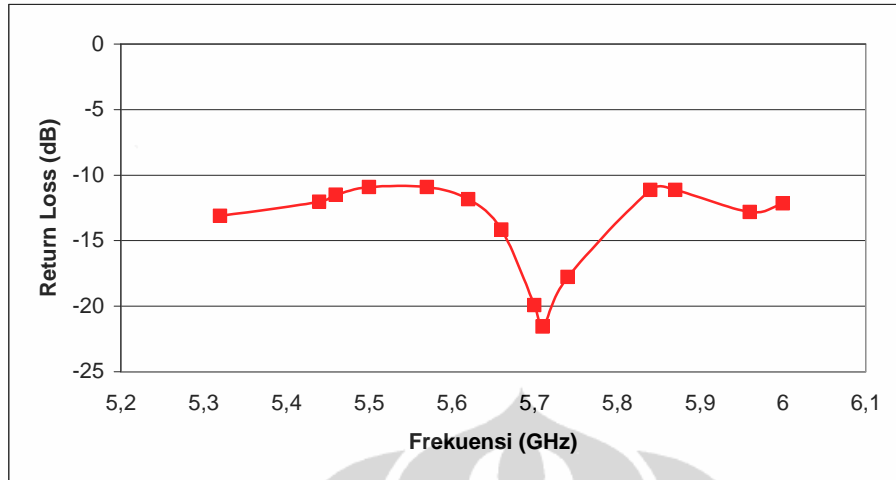
Grafik *return loss* yang didapatkan untuk ketiga frekuensi dari antena mikrostrip *array* 4 elemen yang telah diukur dapat dilihat pada Gambar 4.8 sampai 4.9.



Gambar 4.8 Grafik *return loss* antena mikrostrip *array* 4 elemen pada frekuensi 2,3 GHz



Gambar 4.9 Grafik *return loss* antena mikrostrip *array* 4 elemen pada frekuensi 3,3 GHz



Gambar 4.10 Grafik *return loss* antenna mikrostrip *array* 4 elemen pada frekuensi 5,8 GHz

Dari Gambar 4.8 pada *band* frekuensi 2,3 GHz didapatkan impedansi *bandwidth* pada 2,31 – 2,472 GHz (162 MHz) dengan frekuensi kerja ( $f_r$ ) pada 2,404 GHz yang memiliki *return loss* minimum -32,01 dB. Dari data tersebut dapat dihitung besar persentase *impedance bandwidth* sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 BW &= \frac{f_h - f_l}{f_c} \times 100\% \\
 &= \frac{2,472 - 2,31}{2,404} \times 100\% \\
 &= 6,73 \%
 \end{aligned}$$

Pada Gambar 4.9 dengan *band* frekuensi 3,3 GHz didapatkan impedansi *bandwidth* pada 3,255 – 3,426 GHz (171 MHz) dengan frekuensi kerja ( $f_r$ ) pada 3,35 GHz yang memiliki *return loss* minimum -38,86 dB. Dari data tersebut dapat dihitung besar persentase *impedance bandwidth* :

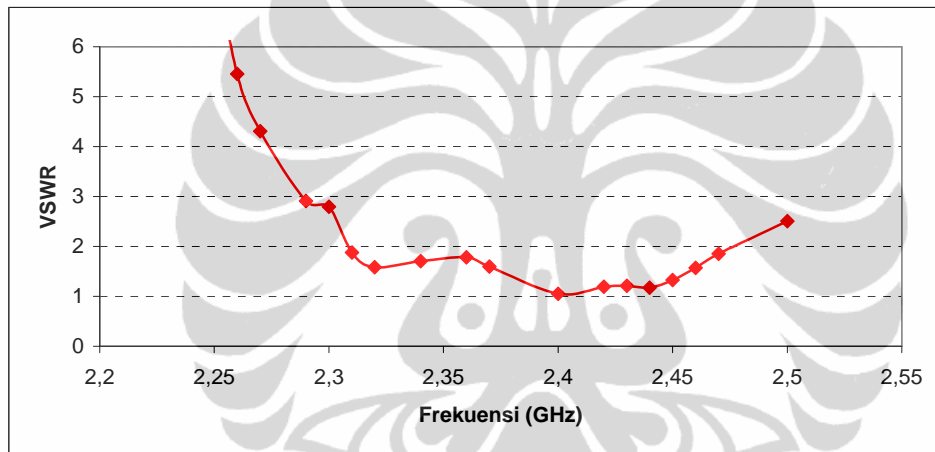
$$\begin{aligned}
 BW &= \frac{f_h - f_l}{f_c} \times 100\% \\
 &= \frac{3,426 - 3,255}{3,35} \times 100\% \\
 &= 5,1 \%
 \end{aligned}$$



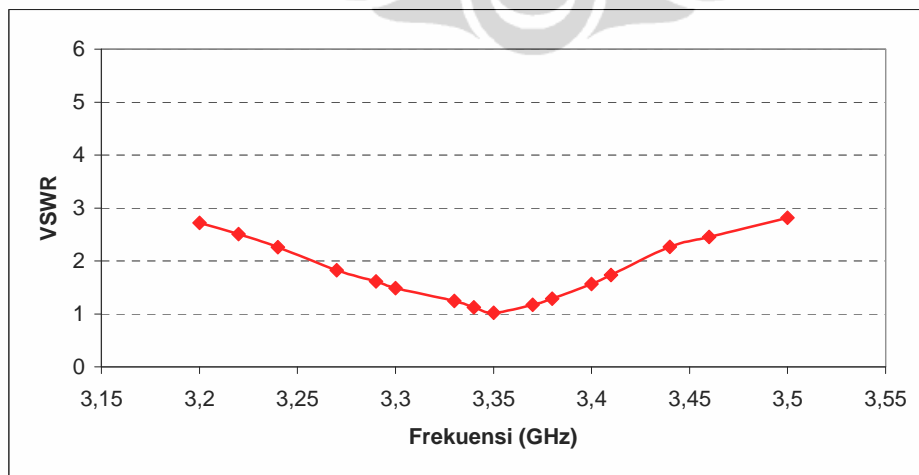
Pada Gambar 4.10 dengan *band* frekuensi 5,8 GHz tidak dapat ditentukan impedansi *bandwidth* karena keterbatasan alat dimana frekuensi atas berada diatas 6 GHz, namun *band* ini memiliki frekuensi kerja ( $f_r$ ) di 5,71 GHz yang mempunyai *return loss* minimum sebesar -21,56 dB.

#### 4.1.2.2 Pengukuran VSWR Antena Mikrostrip *Array* 4 Elemen

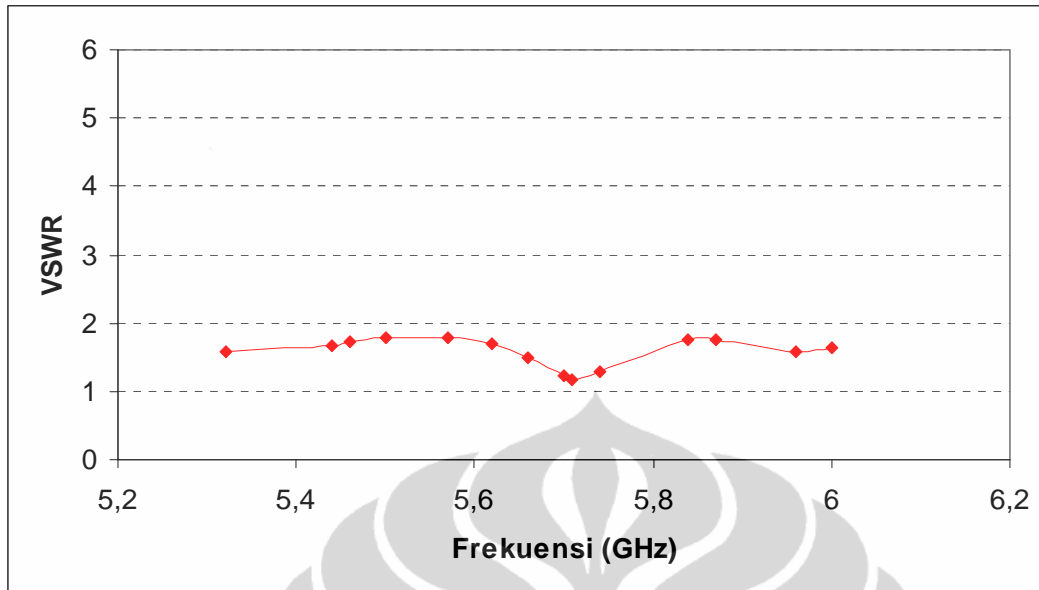
Grafik VSWR yang didapatkan untuk ketiga frekuensi dari antena mikrostrip *array* 4 elemen yang telah diukur dapat dilihat pada Gambar 4.11 sampai 4.13.



Gambar 4.11 Grafik VSWR antena mikrostrip *array* 4 elemen pada frekuensi 2,3 GHz



Gambar 4.12 Grafik VSWR antena mikrostrip *array* 4 elemen pada frekuensi 3,3 GHz



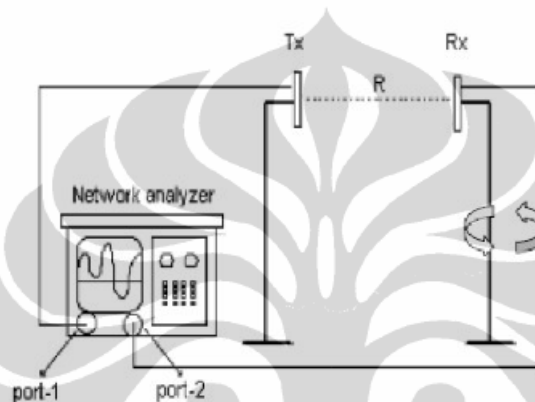
Gambar 4.13 Grafik VSWR antenna mikrostrip *array* 4 elemen pada frekuensi 5,8 GHz

Nilai VSWR yang digunakan dalam penelitian ini adalah lebih kecil dari 2 ( $VSWR < 2$ ). Dalam pengukuran VSWR diperoleh hasil yang mendekati VSWR ideal = 1. Dari Gambar 4.11, nilai VSWR untuk rentang frekuensi 2,3 GHz adalah 1,048. Dari Gambar 4.12, Nilai VSWR untuk rentang frekuensi 3,3 GHz adalah 1,028. Sedangkan nilai VSWR untuk rentang frekuensi 5,8 GHz adalah 1,182 (Gambar 4.13). Nilai VSWR antenna mikrostrip *array* 4 elemen untuk frekuensi 2,3 GHz dan 3,3 GHz tersebut lebih baik daripada nilai VSWR antenna mikrostrip *array* 2 elemen, namun pada frekuensi 5,8 GHz nilai VSWR menurun tetapi tidak signifikan. Dan dengan nilai VSWR mendekati 1 maka antenna semakin mendekati *matching* sehingga akan mengurangi gelombang pantul. Perbaikan nilai VSWR ini menunjukkan bahwa performa antenna meningkat.

Nilai impedansi ketiga frekuensi dari antenna mikrostrip *array* 4 elemen dapat dilihat pada Lampiran 1.6. Untuk *bandwidth* 2,3 GHz didapatkan nilai impedansi yang mendekati  $50 \Omega$  adalah  $50,43 + j19,73j \Omega$  di frekuensi 2,404 GHz. Untuk *bandwidth* 3,3 GHz didapatkan nilai impedansi  $49,78 + j12,31 \Omega$  di frekuensi 3,35 GHz. Sedangkan untuk *bandwidth* 5,8 GHz bernilai  $50,27 + j15,62 \Omega$  di frekuensi 5,71 GHz.

## 4.2 PENGUKURAN POLA RADIASI

Pada pengukuran pola radiasi, dibutuhkan dua buah antenna identik yaitu memiliki frekuensi kerja yang sama digunakan sebagai antenna pemancar dan penerima. Pengukuran ini tetap menggunakan *Network Analyzer*. Format pengukuran adalah jenis  $S_{21}$  dimana antenna penerima ditaruh pada port 2 dan port 1 diletakkan antenna pengirim. Konfigurasi pengukuran *port* ganda diperlihatkan pada gambar 4.14.



Gambar 4.14 Konfigurasi pengukuran *port* ganda

Dari gambar di atas, antenna pemancar dan penerima dipisahkan sejauh  $R$ . Jarak pisah ini harus memenuhi syarat di mana antenna bekerja pada medan jauhnya (*far-field*). Agar dapat bekerja pada medan jauh (*far-field*) dibutuhkan jarak pisah minimum ( $r_{min}$ ), yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan 4.1.

$$r_{min} = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (4.1)$$

Di mana :  $r_{min}$  = jarak minimum pemancar dan penerima (cm)

$D$  = dimensi terbesar dari antenna (cm)

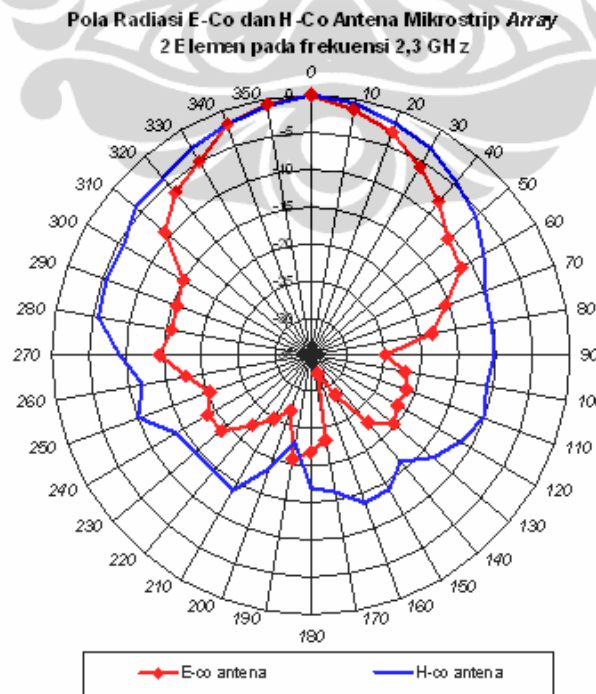
$\lambda$  = panjang gelombang (cm)

Dimensi terbesar dari antenna yang ingin diukur adalah sebesar  $D = 26$  cm. Pengukuran pola radiasi dilakukan di tiga frekuensi pada antenna mikrostrip *array* 4 elemen yaitu frekuensi 2,3 Ghz, 3,3 GHz, dan 5,8 Ghz. Pada frekuensi resonan pertama 2,3 GHz

dengan  $\lambda = 12,87$  cm diperoleh jarak minimum sebesar 105,05 cm. sedangkan pada frekuensi kedua 3,3 GHz dengan  $\lambda = 8,95$  cm diperoleh jarak minimum sebesar 151,06 cm. Sedangkan pada frekuensi ketiga 5,8 GHz dengan  $\lambda = 5,25$  cm diperoleh jarak minimum sebesar 257,52 cm. Untuk mencakup ketiga ketiqa jarak minimum *far field* tersebut, maka diambil jarak minimum yang terbesar ( $r_{\min} = 257,52$  cm). Dengan deminkian ditentukan jarak pisah antar antenna pengirim dan antenna penerima untuk pengukuran pola radiasi dan gain adalah sejauh 300 cm.

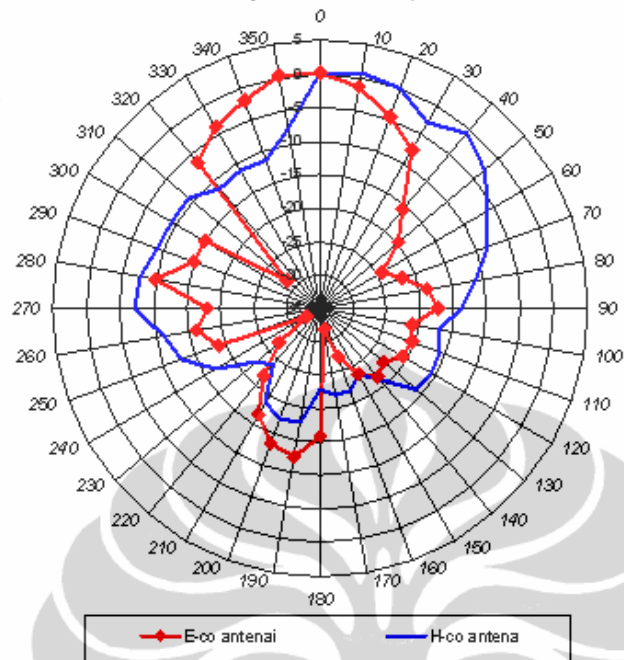
Setelah menentukan jarak antar antenna dan antenna telah dihubungkan ke port NA (format S21) menggunakan kabel koaksial, kemudian antenna penerima diputar dari posisi sudut  $0^0 - 360^0$  dengan interval  $10^0$ . Agar mendapatkan hasil yang akurat, pengukuran dilakukan sebanyak 2 kali, kemudian akan diambil nilai rata-ratanya. Pola radiasi diukur pada dua bidang yang saling tegak lurus yaitu bidang E dan bidang H untuk mendapatkan gambaran bentuk radiasi dalam ruang. Data hasil pengukuran dapat dilihat pada Lampiran 2 yang diolah menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel 2003* kemudian akan dibuat grafik pola radiasi untuk antenna *array* 2 elmen dan *array* 4 elemen.

Gambar 4.15 sampai 4.17 adalah grafik pola radiasi untuk antenna *array* 2 elemen.



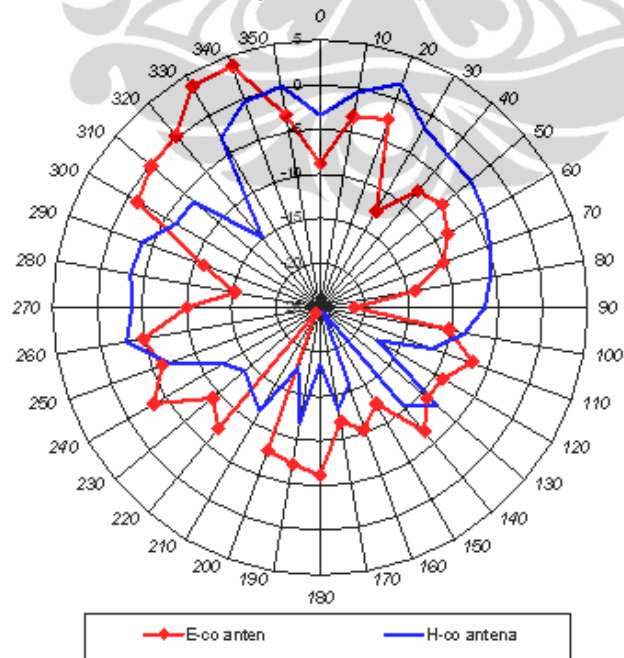
**Gambar 4.15** Grafik pola radiasi medan E dan H di frekuensi 2,3 GHz antenna *array* 2 elemen

**Pola Radiasi E-Co dan H-Co Antena Mikrostrip Array 2 Elemen pada frekuensi 3,3 GHz**



**Gambar 4.16 Grafik pola radiasi medan E dan H di frekuensi 3,3 GHz antena array 2 elemen**

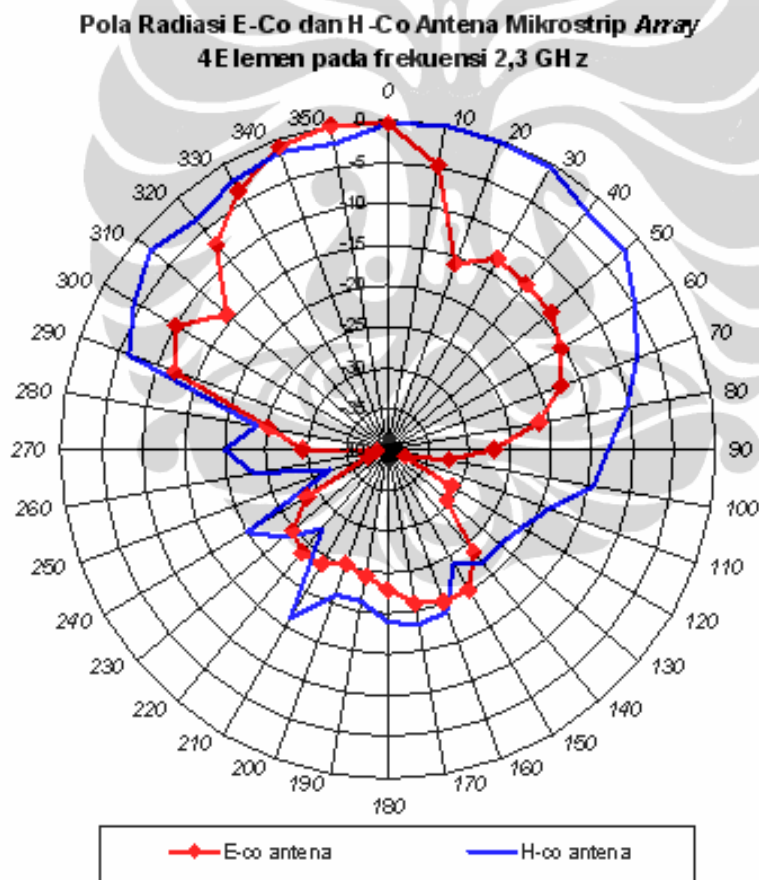
**Pola Radiasi E-Co dan H-Co Antena Mikrostrip Array 2 Elemen pada frekuensi 5,8 GHz**



**Gambar 4.17 Grafik pola radiasi medan E dan H di frekuensi 5,8 GHz antena array 2 elemen**

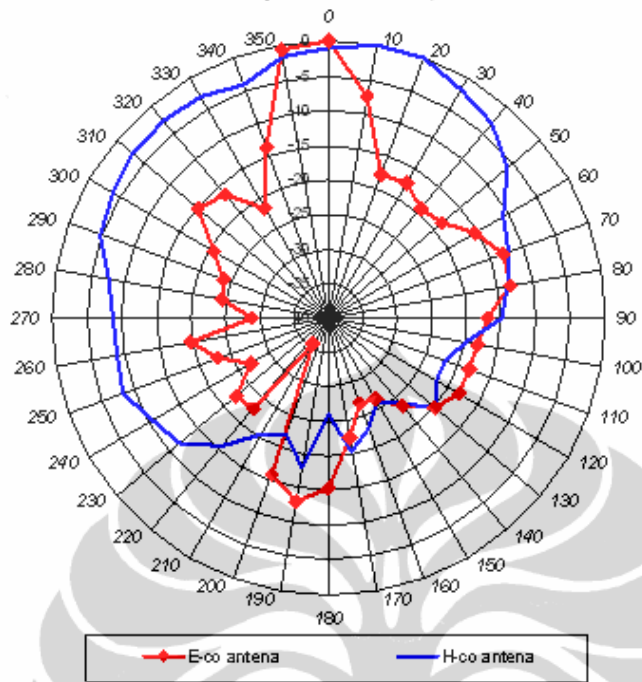
Dari Gambar 4.15 dapat dilihat bahwa pola radiasi antenna mikrostrip *array* 2 elemen pada frekuensi 2,3 GHz cenderung berbentuk *unidirectional* baik untuk medan E maupun medan H-nya. Berkas maksimum di *mainlobe* pada medan E dan medan H adalah pada sudut  $0^\circ$ . Sedangkan pada Gambar 4.16 untuk frekuensi 3,3 GHz pola radiasi untuk medan E dan medan H yang didapatkan berbentuk *unidirectional* juga dengan *mainlobe* maksimum berada pada sudut  $0^\circ$ . Pada gambar 4.17 untuk frekuensi 5,8 GHz berkas maksimum medan E mengarah pada sudut  $320^\circ$  sedangkan berkas maksimum medan H mengarah pada sudut  $350^\circ$ .

Gambar 4.18 sampai 4.19 adalah grafik pola radiasi untuk antenna *array* 4 elemen.



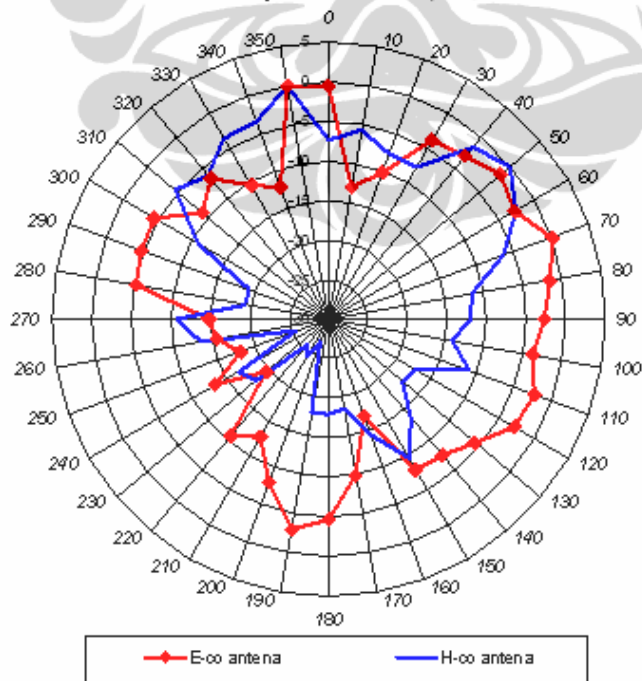
**Gambar 4.18** Grafik pola radiasi medan E dan H di frekuensi 2,3 GHz antenna *array* 4 elemen

**Pola Radiasi E-Co dan H-Co Antena Mikrostrip Array  
4Elemen pada frekuensi 3,3 GHz**



**Gambar 4.19** Grafik pola radiasi medan E dan H di frekuensi 3,3 GHz antena *array* 4 elemen

**Pola Radiasi E-Co dan H-Co Antena Mikrostrip Array  
4Elemen pada frekuensi 5,8 GHz**



**Gambar 4.20** Grafik pola radiasi medan E dan H di frekuensi 5,8 GHz antena *array* 4 elemen

Dari Gambar 4.18 dapat dilihat bahwa pola radiasi antenna mikrostrip *array* 4 elemen pada frekuensi 2,3 GHz cenderung berbentuk *unidirectional* baik untuk medan E maupun medan H-nya. Berkas maksimum di *mainlobe* pada medan E dan medan H adalah pada sudut 0°. Sedangkan pada Gambar 4.19 untuk frekuensi 3,3 GHz pola radiasi untuk medan E dan medan H yang didapatkan berbentuk *unidirectional*, dimana pada berkas maksimum medan E adalah pada sudut 0° sedangkan berkas maksimum medan H pada sudut 20°. Pada gambar 4.20 untuk frekuensi 5,8 GHz dapat dilihat bahwa berkas maksimum medan E terjadi di sudut 350° sedangkan berkas maksimum medan H mengarah pada sudut 50°.

### 4.3 PENGUKURAN GAIN

Ada dua metode untuk mengukur *gain* absolut. Kedua metode ini adalah metode 2 antenna dan metode 3 antenna. Kedua metode ini sama-sama menggunakan persamaan Friis seperti ditunjukkan oleh persamaan 3.2.

$$(G_{ot})_{dB} + (G_{or})_{dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left( \frac{P_r}{P_t} \right) \quad (4.2)$$

Di mana :

- G = *gain* absolut (dB);
- R = jarak pisah antara antenna pemancar dan penerima (meter);
- $\lambda$  = panjang gelombang pada frekuensi yang digunakan (meter);
- $P_t$  = daya pengirim (Watt);
- $P_r$  = daya penerima (Watt).

Metode 2 antenna dipakai jika antenna pemancar dan antenna penerima identik (bentuk *patch*, ukuran *patch*, *gain*, pola radiasi, dll). Dengan mengukur R,  $\lambda$ , dan perbandingan  $P_r/P_t$ , maka nilai *gain* antenna dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4.3.

$$(G_{ot})_{dB} = (G_{or})_{dB} = \frac{1}{2} \left[ 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left( \frac{P_r}{P_t} \right) \right] \quad (4.3)$$



Metode 3 antenna untuk antenna pengirim dan antenna penerima tidak harus identik, tetapi harus memiliki frekuensi kerja yang sama. Metode tiga antenna tidak memperhitungkan apakah antenna tersebut sebagai pengirim atau penerima. Karena menggunakan tiga antenna, maka terdapat 3 kombinasi yang mungkin terjadi, yaitu :

a. Kombinasi 1-2 :

$$(G_1)_{dB} + (G_2)_{dB} = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) + 10\log_{10}\left(\frac{Pr_2}{Pt_1}\right) \quad (4.4)$$

b. Kombinasi 1-3 :

$$(G_1)_{dB} + (G_3)_{dB} = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) + 10\log_{10}\left(\frac{Pr_3}{Pt_1}\right) \quad (4.5)$$

c. Kombinasi 2-3 :

$$(G_2)_{dB} + (G_3)_{dB} = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) + 10\log_{10}\left(\frac{Pr_3}{Pt_2}\right) \quad (4.6)$$

Ketiga persamaan di atas dapat dituliskan sebagai:

$$G_1 \text{ (dB)} + G_2 \text{ (dB)} = A \quad (4.7)$$

$$G_1 \text{ (dB)} + G_3 \text{ (dB)} = B \quad (4.8)$$

$$G_2 \text{ (dB)} + G_3 \text{ (dB)} = C \quad (4.9)$$

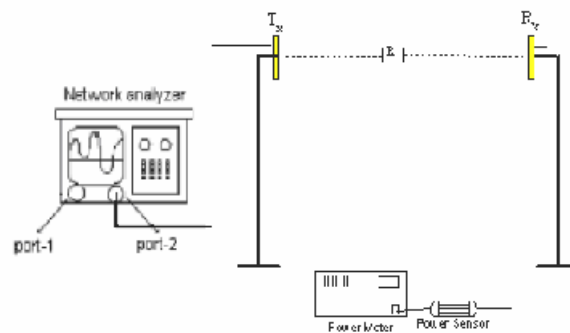
Dengan demikian penyelesaian untuk ketiga persamaan di atas adalah:

$$G_1 \text{ (dB)} = \frac{1}{2} (A + B - C) \quad (4.10)$$

$$G_2 \text{ (dB)} = \frac{1}{2} (A - B + C) \quad (4.11)$$

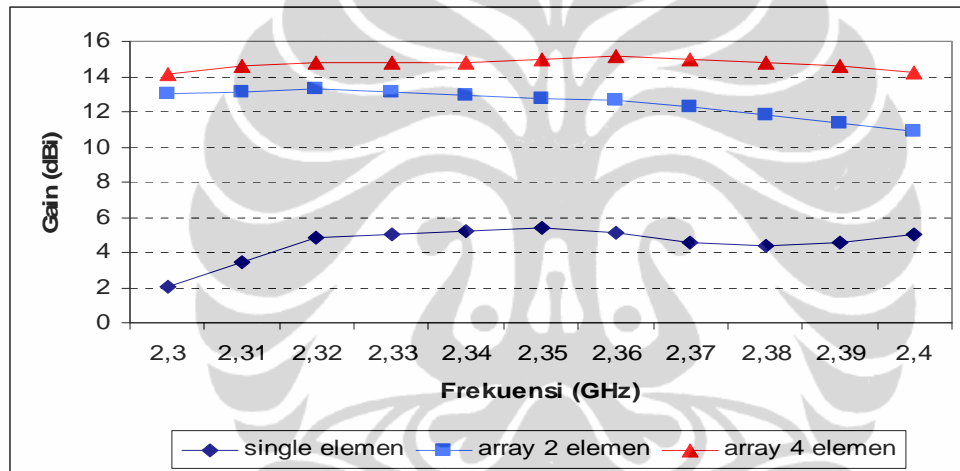
$$G_3 \text{ (dB)} = \frac{1}{2} (-A + B + C) \quad (4.12)$$

Rangkaian peralatan untuk mengukur gain diperlihatkan pada gambar 4.21.

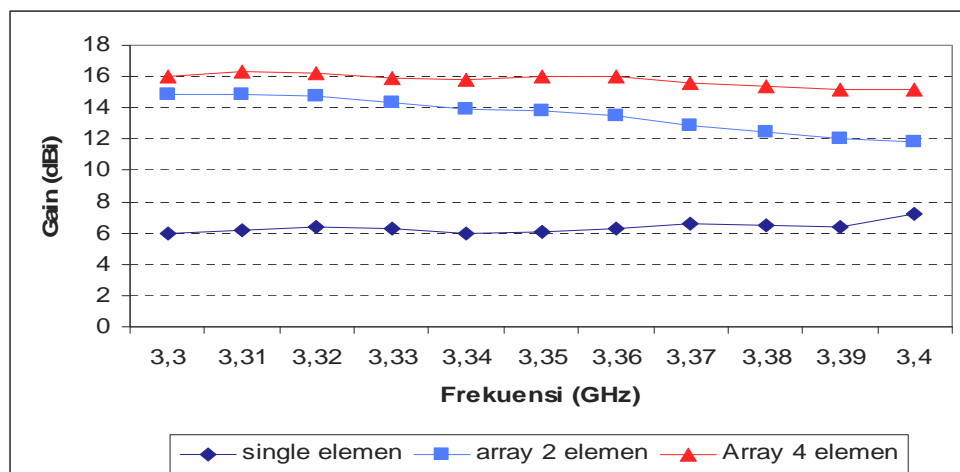


**Gambar 4.21 Rangkaian peralatan untuk mengukur gain**

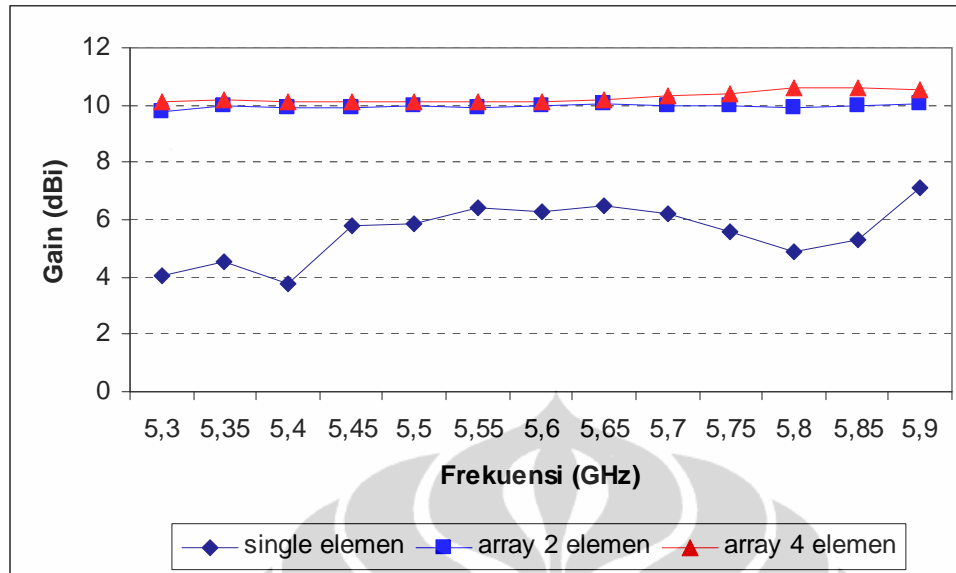
Penelitian ini menggunakan metode 3 antenna meskipun terdapat antenna *single* elemen yang identik dan sudah diketahui gainnya. Antena *single* elemen tersebut diukur kembali untuk mendapatkan gain yang lebih akurat. Hasil perhitungan gain akan diberikan pada Lampiran 3. *Gain* antenna diukur sepanjang frekuensi kerja yang diinginkan. Pada frekuensi 2,3 GHz diukur 2,3 – 2,4 GHz setiap 10 MHz. Untuk frekuensi kerja 3,3 GHz diukur dari rentang frekuensi 3,3 – 3,4 GHz setiap 10 MHz. Sedangkan untuk frekuensi 5,8 GHz diukur dari 5 GHz sampai 6 GHz setiap 50 MHz. Grafik hasil pengukuran *gain* untuk antenna *array* 2 elemen dapat dilihat pada Gambar 4.22 sampai 4.24.



Gambar 4.22 Gain Antena di frekuensi 2,3 GHz



Gambar 4.23 Gain Antena di frekuensi 3,3 GHz



**Gambar 4.24 Gain Antena di frekuensi 5,8 GHz**

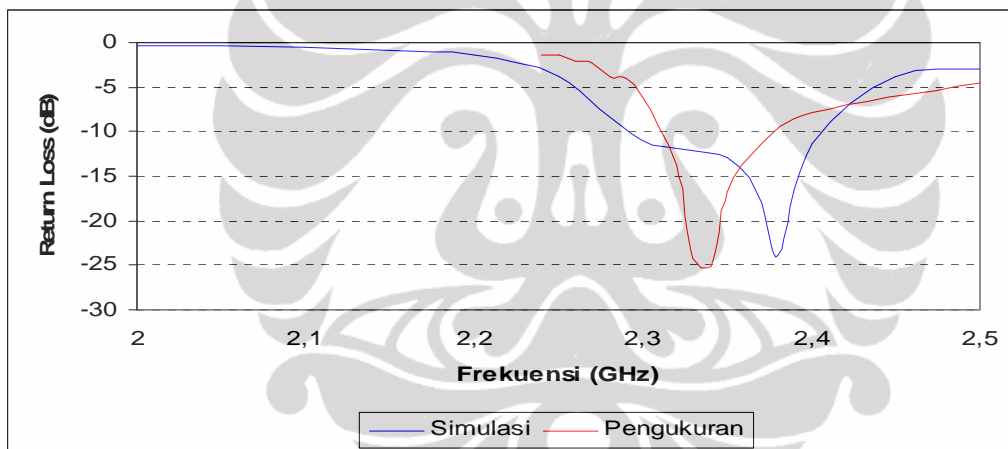
Dari ketiga gambar diatas, dapat dilihat pada frekuensi 2,3 GHz diperoleh *gain* sekitar 5 dBi untuk antena *single* elemen,  $\pm 13$  dBi untuk antena *array* 2 elemen, dan  $\pm 15$  dBi untuk antena *array* 4 elemen. Sedangkan pada frekuensi 3,3 GHz didapatkan *gain* sekitar 6 dBi untuk antena *single* elemen,  $\pm 14$  dBi untuk antena *array* 2 elemen, dan  $\pm 16$  dBi untuk antena *array* 4 elemen. Dan pada frekuensi 5,8 GHz diperoleh *gain* sekitar 6 dBi untuk antena *single* elemen,  $\pm 10$  dBi untuk antena *array* 2 elemen, dan  $\pm 10,5$  dBi untuk antena *array* 4 elemen. Dari data diatas dapat diambil kesimpulan bahwa antena mikrostrip *array* 4 elemen memiliki *gain* lebih tinggi dari antena mikrostrip *array* 2 elemen dan *single* elemen di tiga frekuensi WiMAX, dan juga antena mikrostrip *array* 2 elemen memperoleh *gain* lebih tinggi dari antena mikrostrip *single* elemen di tiga frekuensi WiMAX. Dengan demikian, metoda *array* antena telah membuktikan dapat meningkatkan karakteristik antena khususnya *gain* antena.

#### 4.4 ANALISIS HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN

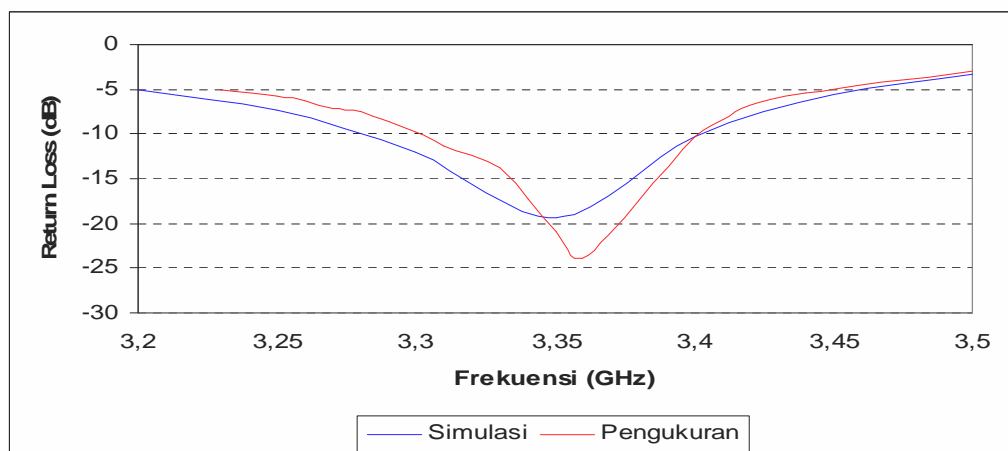
Pada sub bab ini akan dianalisis mengenai perbedaan hasil simulasi dengan hasil pengukuran yang meliputi *port* tunggal dan pola radiasi. Analisis perbedaan hasil tersebut akan diperlihatkan satu per satu untuk dua buah antenna mikrostrip *triple-band* pada WiMAX yaitu antenna mikrostrip *array* 2 elemen dan *array* 4 elemen. Selain itu akan dihitung persen kesalahan perbedaan hasil simulasi dengan hasil pengukuran.

##### 4.4.1 Analisis Hasil Simulasi dan Pengukuran *Port* Tunggal

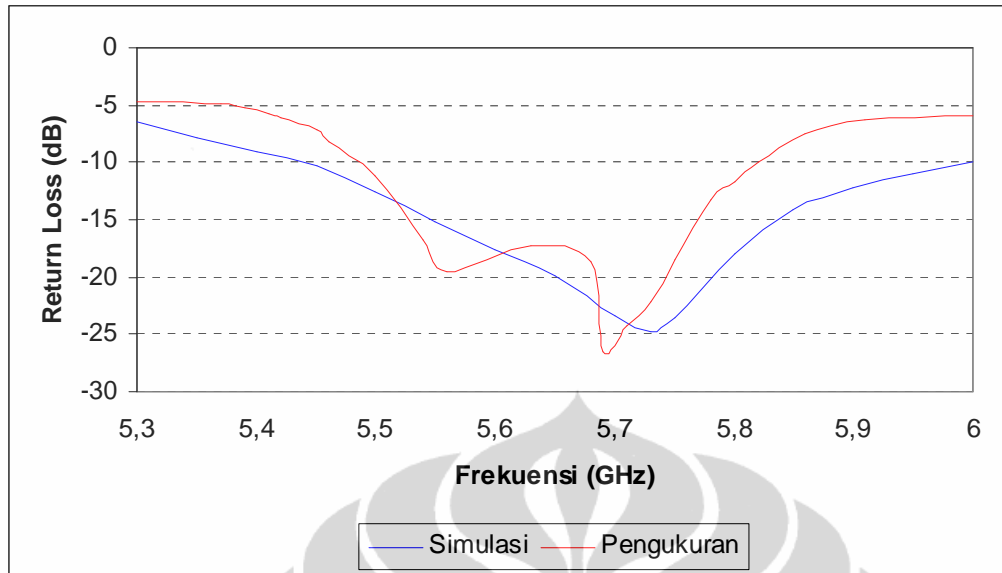
Berikut Gambar 4.25 (a), (b), dan (c) menampilkan grafik *return loss* dari hasil simulasi dan pengukuran untuk antenna mikrostrip *array* 2 elemen untuk ketiga frekuensi WiMAX.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.24 Grafik *return loss* hasil simulasi dan pengukuran antenna *array* 2 elemen  
(a) frek 2,3 GHz (b) frek 3,3 GHz (c) frek 5,8 GHz

Dari ketiga Gambar 4.24 di atas dapat dilihat bahwa terjadi pergeseran impedansi *bandwidth* dan frekuensi kerja antenna. Meskipun demikian, frekuensi kerja yang didapatkan masih mencakupi frekuensi kerja WiMAX yang diinginkan. Analisis yang dapat diberikan pada perbandingan hasil simulasi dan hasil pengukuran untuk ketiga gambar di atas akan diperlihatkan pada Tabel 4.1 sampai Tabel 4.3.

Tabel 4.1 Hasil pengukuran dengan hasil simulasi port tunggal *array* 2 elemen di frekuensi 2,3 GHz

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Impedansi <i>bandwidth</i>	2,293 – 2,409 116 MHz atau 4,87 %	2,31 – 2,38 GHz 70 MHz atau 3 %
Frekuensi tengah	2,38 GHz	2,34 GHz
<i>Return loss</i> (di frekuensi resonan)	-23,98 dB	-25,11 dB
VSWR (di frekuensi resonan)	1,135	1.11

Dapat dilihat pada hasil simulasi dan hasil pengukuran terdapat perbedaan *Return loss* dan VSWR hasil pengukuran mengalami perbaikan.

Error (kesalahan) didapatkan dengan persamaan :

(4.13)

$$\text{Error} = \left| \frac{\text{Data hasil pengukuran} - \text{Data hasil simulasi}}{\text{Data hasil simulasi}} \right| \times 100\%$$

Berikut diberikan nilai error frekuensi kerja antenna berdasarkan Tabel 4.1 (a) :

Untuk frekuensi bawah :

$$\begin{aligned} \text{Error} &= \left| \frac{f_{\text{pengukuran}} - f_{\text{simulasi}}}{f_{\text{simulasi}}} \right| \times 100\% = \left| \frac{2,31 - 2,293}{2,293} \right| \times 100\% \\ &= 0,74\% \end{aligned}$$

Untuk frekuensi atas :

$$\begin{aligned} \text{Error} &= \left| \frac{f_{\text{pengukuran}} - f_{\text{simulasi}}}{f_{\text{simulasi}}} \right| \times 100\% = \left| \frac{2,38 - 2,409}{2,409} \right| \times 100\% \\ &= 1,203\% \end{aligned}$$

**Tabel 4.2 Hasil pengukuran dengan hasil simulasi port tunggal array 2 elemen di frekuensi 3,3 GHz**

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Impedansi <i>bandwidth</i>	3,278 – 3,403 GHz 125 MHz atau 3,73 %	3,305 – 3.4 GHz 95 MHz atau 2,83 %
Frekuensi tengah	3,35 GHz	3,36 GHz
<i>Return loss</i> (di frekuensi resonan)	-19,36 dB	-23,85 dB
VSWR (di frekuensi resonan)	1,241	1.13

Dapat dilihat pada hasil simulasi dan hasil pengukuran di frekuensi 3,3 GHz terdapat perbedaan. *Return loss* dan VSWR hasil pengukuran mengalami perbaikan.

Berikut diberikan nilai error frekuensi kerja antenna berdasarkan Tabel 4.1 (b) :

Untuk frekuensi bawah :

$$Error = \left| \frac{f_{pengukuran} - f_{simulasi}}{f_{simulasi}} \right| \times 100\% = \left| \frac{3,305 - 3,278}{3,278} \right| \times 100\% = 0,82\%$$

Untuk frekuensi atas :

$$Error = \left| \frac{f_{pengukuran} - f_{simulasi}}{f_{simulasi}} \right| \times 100\% = \left| \frac{3,4 - 3,403}{3,403} \right| \times 100\% = 0,08\%$$

**Tabel 4.3 Hasil pengukuran dengan hasil simulasi port tunggal array 2 elemen di frekuensi 5,8 GHz**

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Impedansi <i>bandwidth</i>	5,436 – 5,999 GHz 563 MHz atau 9,82 %	5,5 – 5,822 GHz 322 MHz atau 5,63 %
Frekuensi tengah	5,73 GHz	5,71 GHz
<i>Return loss</i> (di frekuensi resonan)	-24,73 dB	-24,18 dB
VSWR (di frekuensi resonan)	1,123	1,13

Dapat dilihat pada hasil simulasi dan hasil pengukuran di frekuensi 5,8 GHz terdapat perbedaan. *Return loss* dan VSWR hasil pengukuran mengalami perbaikan.

Berikut diberikan nilai error frekuensi kerja antenna berdasarkan Tabel 4.1 (c) :

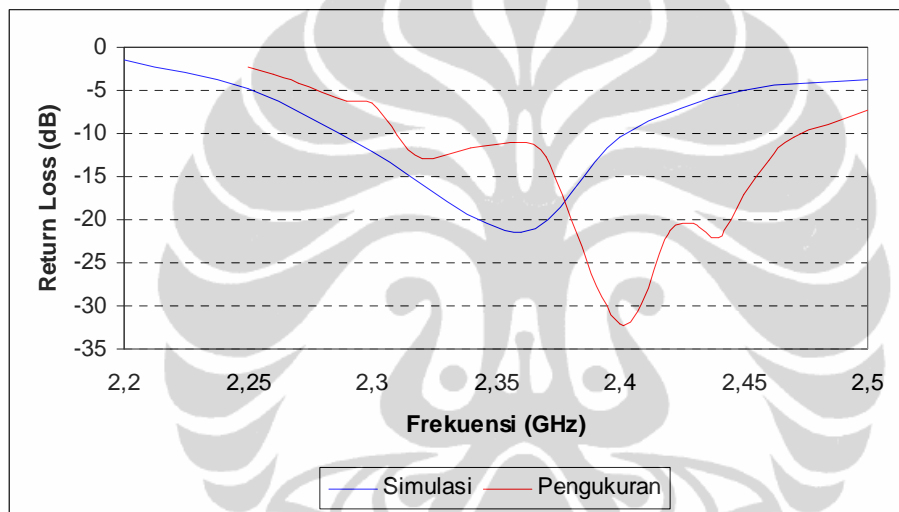
Untuk frekuensi bawah :

$$Error = \left| \frac{f_{pengukuran} - f_{simulasi}}{f_{simulasi}} \right| \times 100\% = \left| \frac{5,5 - 5,436}{5,436} \right| \times 100\% = 1,17\%$$

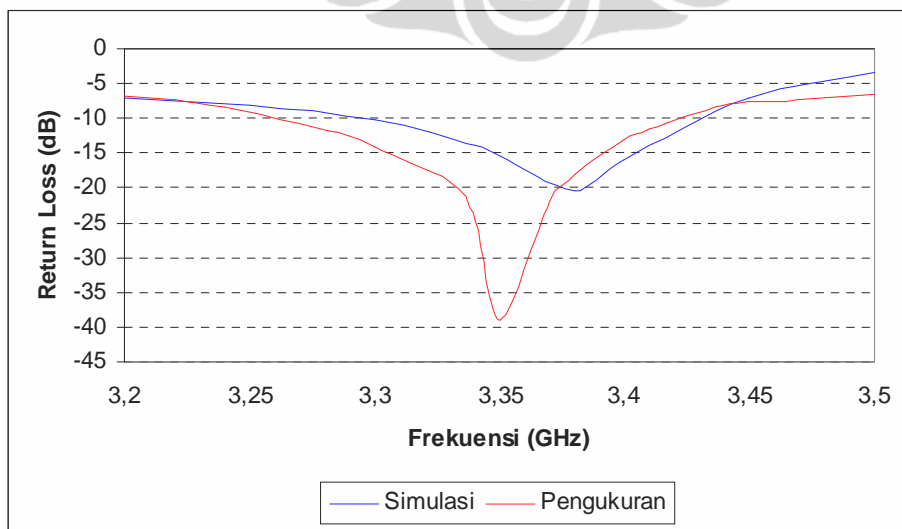
Untuk frekuensi atas :

$$\begin{aligned} \text{Error} &= \left| \frac{f_{\text{pengukuran}} - f_{\text{simulasi}}}{f_{\text{simulasi}}} \right| \times 100\% = \left| \frac{5,822 - 5,999}{5,999} \right| \times 100\% \\ &= 3,04\% \end{aligned}$$

Grafik *return loss* hasil simulasi dan hasil pengukuran pada antenna mikrostrip *array* 4 elemen untuk ketiga frekuensi diperlihatkan pada Gambar 4.26 di bawah ini.

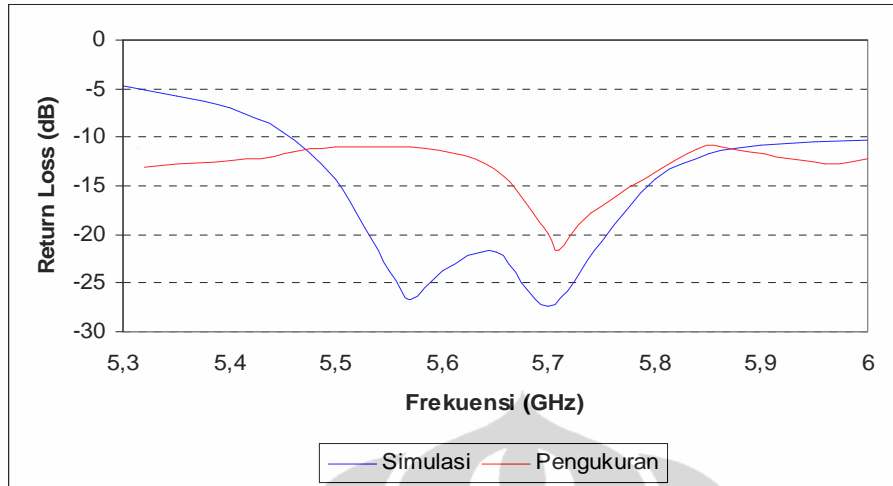


(a)



(b)





(c)

**Gambar 4.25** Grafik *return loss* hasil simulasi dan pengukuran antenna *array* 4 elemen

(a) frek 2,3 GHz (b) frek 3,3 GHz (c) frek 5,8 GHz

Dari ketiga Gambar 4.26 di atas dapat dilihat bahwa terjadi pergeseran impedansi *bandwidth* dan frekuensi kerja antenna. Meskipun demikian, frekuensi kerja yang didapatkan masih mencakupi frekuensi kerja WiMAX yang diinginkan. Analisis yang dapat diberikan pada perbandingan hasil simulasi dan hasil pengukuran untuk ketiga gambar diatas akan diperlihatkan pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.4** Hasil pengukuran dan hasil simulasi port tunggal *array* 4 elemen frekuensi 2,3 GHz

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Impedansi <i>bandwidth</i>	2,286 – 2,404 GHz 118 MHz atau 5 %	2,31 – 2,472 GHz 162 MHz atau 6,73 %
Frekuensi tengah	2,36 GHz	2,404 GHz
<i>Return loss</i> (di frekuensi resonan)	-21,52 dB	-32,01 dB
VSWR (di frekuensi resonan)	1,183	1,051

Berikut diberikan nilai error frekuensi kerja antenna berdasarkan Tabel 4.4 :

Untuk frekuensi bawah :

$$\begin{aligned}
 \text{Error} &= \left| \frac{f_{\text{pengukuran}} - f_{\text{simulasi}}}{f_{\text{simulasi}}} \right| \times 100\% = \left| \frac{2,31 - 2,286}{2,286} \right| \times 100\% \\
 &= 1,05 \%
 \end{aligned}$$

Untuk frekuensi atas :

$$Error = \left| \frac{f_{pengukuran} - f_{simulasi}}{f_{simulasi}} \right| \times 100\% = \left| \frac{2,472 - 2,404}{2,404} \right| \times 100\% = 2,82 \%$$

**Tabel 4.5 Hasil pengukuran dan hasil simulasi port tunggal array 4 elemen frekuensi 3,3 GHz**

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Impedansi <i>bandwidth</i>	3,298 – 3,433 GHz 135 MHz atau 4 %	3,255 – 3,426 GHz 171 MHz atau 5,1 %
Frekuensi tengah	3,38 GHz	3,35 GHz
<i>Return loss</i> (di frekuensi resonan)	-20,51 dB	-38,86 dB
VSWR (di frekuensi resonan)	1,208	1,023

Berikut diberikan nilai error frekuensi kerja antenna berdasarkan Tabel 4.5 :

Untuk frekuensi bawah :

$$Error = \left| \frac{f_{pengukuran} - f_{simulasi}}{f_{simulasi}} \right| \times 100\% = \left| \frac{3,255 - 3,298}{3,298} \right| \times 100\% = 1,3 \%$$

Untuk frekuensi atas :

$$Error = \left| \frac{f_{pengukuran} - f_{simulasi}}{f_{simulasi}} \right| \times 100\% = \left| \frac{3,426 - 3,433}{3,433} \right| \times 100\% = 0,2 \%$$

**Tabel 4.6 Hasil pengukuran dan hasil simulasi port tunggal array 4 elemen frekuensi 5,8 GHz**

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Impedansi <i>bandwidth</i>	5,457 – 6,021 GHz 564 MHz atau 9,89 %	5,56 – > 6 GHz
Frekuensi kerja	5,7 GHz	5,71 GHz
<i>Return loss</i> (di frekuensi resonan)	-27,42 dB	-21,56 dB
VSWR (di frekuensi resonan)	1,096	1,182

Berikut diberikan nilai error frekuensi kerja antenna berdasarkan Tabel 4.6 :

Untuk frekuensi bawah :

$$Error = \left| \frac{f_{pengukuran} - f_{simulasi}}{f_{simulasi}} \right| \times 100\% = \left| \frac{5,56 - 5,457}{5,457} \right| \times 100\% = 1,88 \%$$

Hasil pengukuran nilai *return loss* dan VSWR di frekuensi 2,3 GHz dan 3,3 GHz diperoleh hasil pengukuran yang sangat sangat baik jika dibandingkan dengan hasil simulasinya, namun impedansi *bandwith* menjadi lebih lebar. Sebaliknya pada frekuensi 5,8 GHz nilai *return loss* dan VSWR memburuk, namun impedansi *bandwidth* yang diperoleh lebih baik.

Kesalahan (*error*) pengukuran disebabkan beberapa faktor yaitu : kondisi pada saat pengukuran tidak ideal, proses fabrikasi antenna yang kurang baik sehingga menyebabkan adanya sedikit kecacatan pada antenna, penyolderan konektor SMA dengan saluran pencatu mikrostrip yang kurang baik, dan kondisi lingkungan pengukuran yang masih memungkinkan adanya gelombang pantul yang dihasilkan oleh lantai atau benda-benda di sekitar objek pengukuran.

Perbandingan hasil pengukuran antenna mikrostrip *array* 2 elemen dengan antenna mikrostrip *array* 4 elemen, diperlihatkan pada Tabel 4.7 sampai 4.9.

**Tabel 4.7 Perbandingan hasil pengukuran *array* 2 elemen dan *array* 4 elemen di frekuensi 2,3 GHz**

Parameter	<i>array</i> 2 elemen	<i>array</i> 4 elemen
Impedansi <i>bandwidth</i>	2,31 – 2,38 GHz 70 MHz atau 3 %	2,31 – 2,472 GHz 162 MHz atau 6,73 %
Frekuensi tengah	2,34 GHz	2,404 GHz
<i>Return loss</i> (di frekuensi resonan)	-25,11 dB	-32,01 dB
VSWR (di frekuensi resonan)	1.11	1,051

**Tabel 4.8 Perbandingan hasil pengukuran *array* 2 elemen dan *array* 4 elemen di frekuensi 3,3 GHz**

Parameter	<i>array</i> 2 elemen	<i>array</i> 4 elemen
Impedansi <i>bandwidth</i>	3,305 – 3,4 GHz 95 MHz atau 2,83 %	3,255 – 3,426 GHz 171 MHz atau 5,1 %
Frekuensi tengah	3,36 GHz	3,35 GHz
<i>Return loss</i> (di frekuensi resonan)	-23,85 dB	-38,86 dB
VSWR (di frekuensi resonan)	1.13	1,023

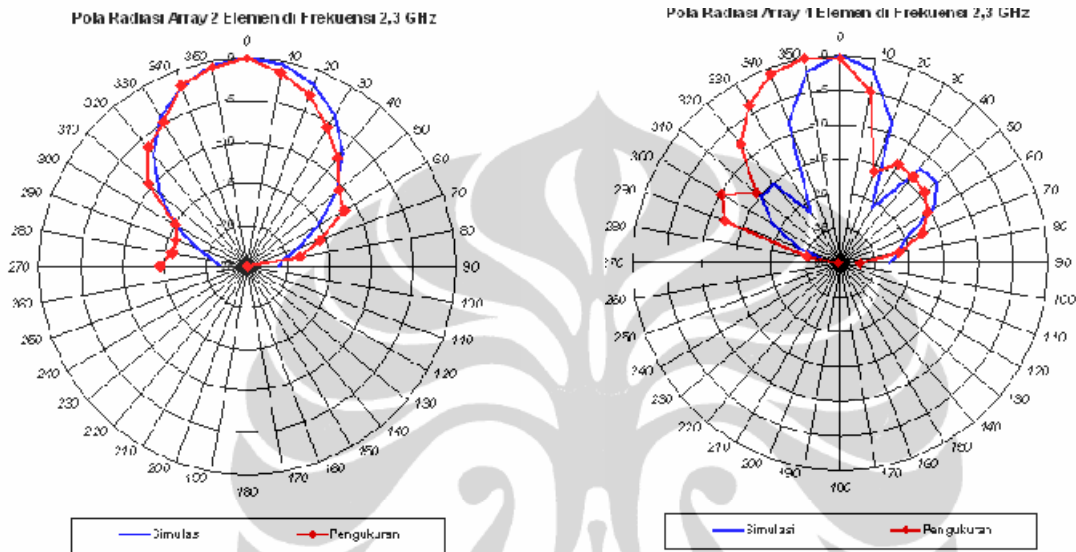
**Tabel 4.9 Perbandingan hasil pengukuran *array* 2 elemen dan *array* 4 elemen di frekuensi 5,8 GHz**

Parameter	<i>array</i> 2 elemen	<i>array</i> 4 elemen
Impedansi <i>bandwidth</i>	5,5 – 5,822 GHz 322 MHz atau 5,63 %	5,56 – > 6 GHz
Frekuensi tengah	5,71 GHz	5,71 GHz
<i>Return loss</i> (di frekuensi resonan)	-24,18 dB	-21,56 dB
VSWR (di frekuensi resonan)	1,13	1,182

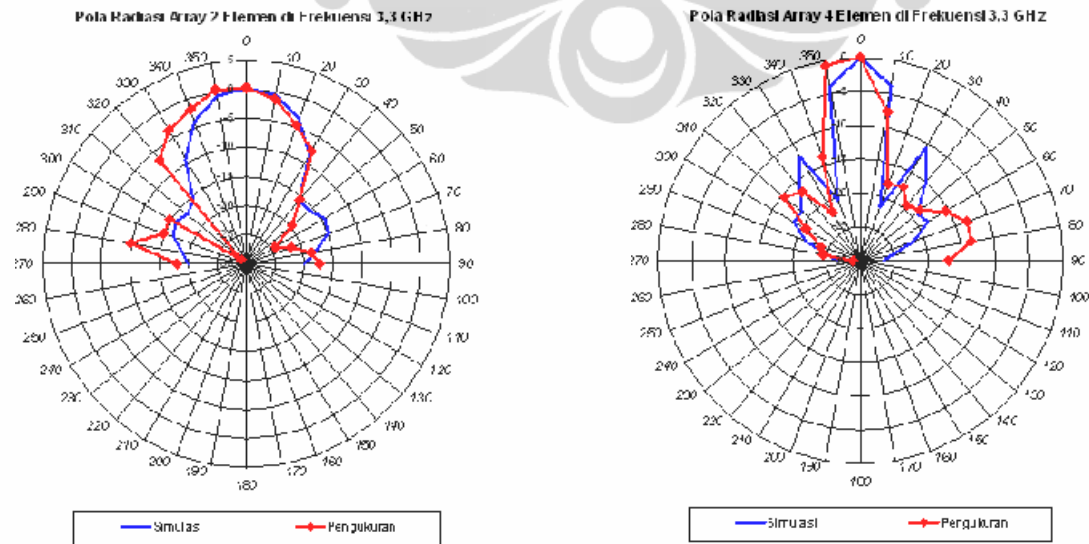
Berdasarkan pengamatan pada Tabel di atas, di frekuensi 2,3 GHz dan 3,3 GHz, hasil pengukuran port tunggal pada antena mikrostrip *array* 4 elemen terjadi peningkatan impedansi *bandwidth*, *return loss*, dan VSWR jika dibandingkan dengan hasil pengukuran antena mikrostrip *array* 2 elemen. Namun hal ini berkebalikan di frekuensi 5,8 GHz dimana terjadi penurunan ketiga parameter tersebut.

#### 4.4.2 Analisis Hasil Simulasi dan Pengukuran Pola Radiasi

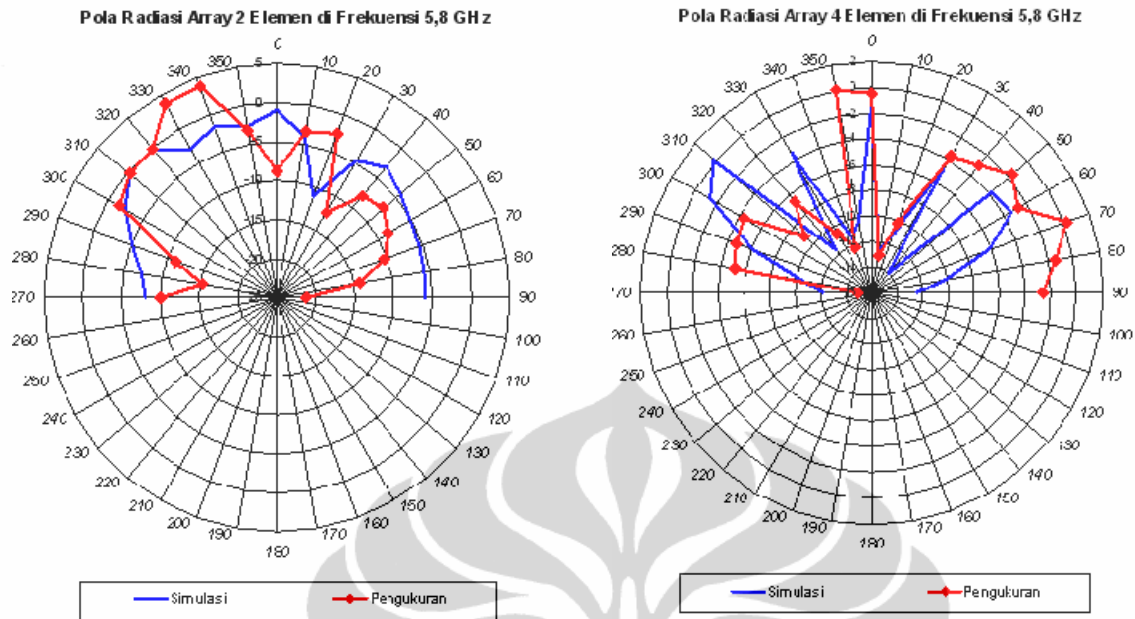
Grafik pola radiasi dari hasil simulasi dan hasil pengukuran untuk antenna mikrostrip *array* 2 elemen dan *array* 4 elemen untuk ketiga frekuensi diperlihatkan pada Gambar 4.26 sampai 4.28 secara berurutan.



Gambar 4.27 Grafik pola radiasi antenna *array* 2 elemen dan *array* 4 elemen di frekuensi 2,3 GHz



Gambar 4.28 Grafik pola radiasi antenna *array* 2 elemen dan *array* 4 elemen di frekuensi 3,3 GHz



**Gambar 4.29** Grafik pola radiasi antenna *array* 2 elemen dan *array* 4 elemen di frekuensi 5,8 GHz

Dari ketiga gambar di atas, hasil pengukuran dari pola radiasi antenna mikrostrip *array* 4 elemen dan antenna mikrostrip *array* 2 elemen memperoleh pola yang mirip hasil simulasi untuk ketiga frekuensi. Analisa pola radiasi kedua antenna tersebut telah dibarikan pada sub bab 4.2.