

BAB IV

METODOLOGI PENGUKURAN DAN ANALISA HASIL PENGUKURAN

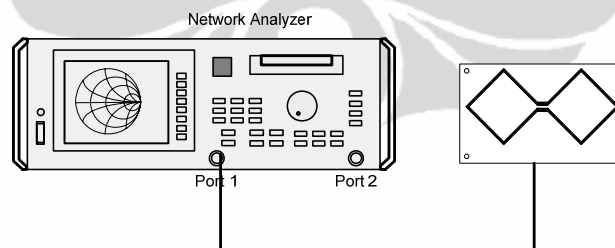
4.1. METODOLOGI PENGUKURAN PARAMETER ANTENA

Parameter antena yang diukur pada tesis ini adalah *return loss*, VSWR, impedansi masukan, pola radiasi, dan *gain*. Kelima parameter antena yang akan diukur ini dikelompokkan menjadi tiga bagian, yaitu pengukuran *port* tunggal (untuk mengukur *return loss*, VSWR, dan impedansi masukan), pengukuran *port* ganda (untuk mengukur pola radiasi), dan pengukuran *gain*.

Pengukuran ini menggunakan *Network Analyzer 8753E* yang memiliki 2 buah *port*. Sebelum digunakan, hal yang penting dilakukan adalah melakukan kalibrasi pada *port* yang akan dipasang.

4.1.1. Pengukuran *Port* Tunggal

Pengukuran *port* tunggal merupakan pengukuran parameter sebuah antena tanpa melibatkan antena lain sebagai pemancar atau penerima. Pada pengukuran *port* tunggal ini, parameter yang diukur adalah *return loss*, VSWR, dan impedansi masukan. Konfigurasi pengukuran *port* tunggal terlihat pada Gambar 4.1.

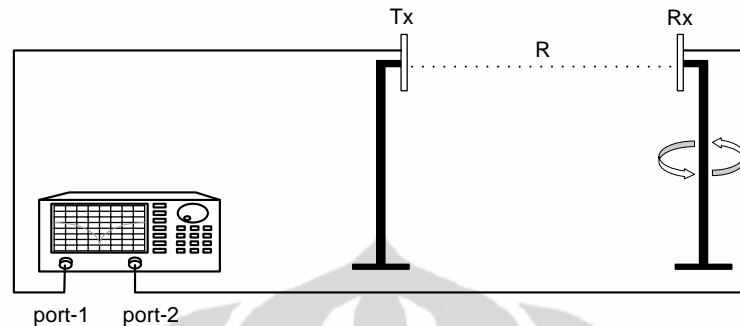


Gambar 4.1. Konfigurasi pengukuran *port* tunggal

4.1.2. Pengukuran *Port* Ganda

Pada pengukuran *port* ganda digunakan dua buah *port* yaitu *port-1* dan *port-2* dari *Network Analyzer*. Pengukuran ini membutuhkan sebuah antena lain selain dari antena yang ingin diukur dan harus memiliki frekuensi kerja yang

sama. Antena yang ingin diukur dihubungkan dengan *port* 2 dan antena lain tersebut dihubungkan dengan *port* 1. Konfigurasi pengukuran *port* ganda diperlihatkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Konfigurasi pengukuran *port* ganda

Pengukuran *port* ganda ini digunakan untuk mengukur karakteristik pola radiasi dari antena yang telah difabrikasi. Dari Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa antena pemancar (Tx) dan penerima (Rx) dipisahkan sejauh R. Jarak pisah ini memiliki nilai minimum yang harus dipenuhi agar antena bekerja pada medan jauhnya (*far-field*). Jarak minimum tersebut 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 antena (cm)

λ = panjang gelombang (cm)

Dimensi terbesar dari antena yang ingin diukur pada tesis ini adalah sebesar $D = 22,7$ cm dan panjang gelombang pada frekuensi 2,35 GHz adalah $\lambda = 12,7$ cm maka diperoleh jarak minimum $r_{\min} = 81,2$ cm. Pada pengukuran digunakan jarak pisah sejauh 100 cm. Format pengukuran digunakan parameter S21 yang artinya antena pemancar di *port* 1 dan antena penerima di *port* 2.

Pengukuran pola radiasi dilakukan pada frekuensi kerja antena (yaitu frekuensi pada saat nilai *return loss* minimum). Antena penerima diputar dari posisi sudut $0^{\circ} - 360^{\circ}$ dengan interval 10° . Pengukuran dilakukan sebanyak 2 kali, yaitu untuk medan H dan medan E.

4.1.3. Pengukuran Gain Absolut

Ada dua metode untuk mengukur *gain* absolute yaitu metode 2 antena dan metode 3 antena. Kedua metode ini sama-sama menggunakan persamaan Friis seperti ditunjukkan oleh Persamaan 4.2.

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

di mana :

G = *gain* absolut (dB);

R = jarak pisah antara antena pemancar dan penerima (meter);

λ = panjang gelombang pada frekuensi yang digunakan (meter);

P_t = daya pengirim (Watt);

P_r = daya penerima (Watt).

4.1.3.1. Metode 2 Antena

Metode 2 antena dipakai jika antena pemancar dan antena penerima identik (bentuk *patch*, ukuran *patch*, *gain*, pola radiasi, dll) [2]. Dengan mengukur R, λ , dan perbandingan P_r/P_t , maka nilai *gain* antena dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.3.

$$(G_{ot})_{dB} = (G_{or})_{dB} = \frac{1}{2} \left[20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \right] \quad (4-3)$$

4.1.3.2. Metode 3 Antena

Pada metode ini, ketiga antena yang dipakai tidak harus identik, tetapi harus memiliki frekuensi kerja yang sama. Karena menggunakan tiga antena, maka terdapat 3 kombinasi yang mungkin terjadi, yaitu :

a. Kombinasi 1-2 :

$$(G_1)_{dB} + (G_2)_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_{r_2}}{P_{t_1}} \right) \quad (4-4)$$

b. Kombinasi 1-3 :

$$(G_1)_{dB} + (G_3)_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_{r_3}}{P_{t_1}} \right) \quad (4-5)$$

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:

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

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

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

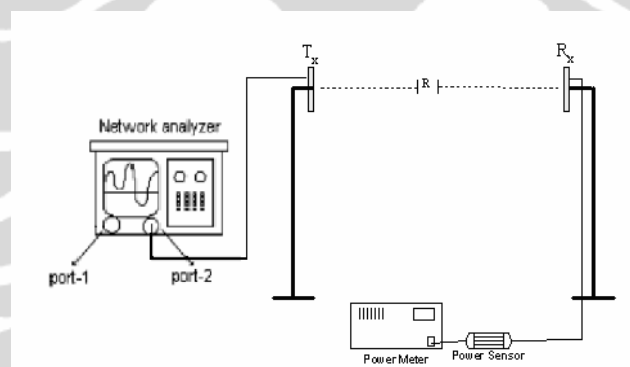
Dengan demikian penyelesaian untuk ketiga persamaan di atas adalah:

$$G_1 \text{ (dB)} = \frac{1}{2} (A + B - C) \quad (4-7)$$

$$G_2 \text{ (dB)} = \frac{1}{2} (A - B + C) \quad (4-8)$$

$$G_3 \text{ (dB)} = \frac{1}{2} (-A + B + C) \quad (4-9)$$

Rangkaian peralatan untuk pengukuran gain diperlihatkan pada Gambar-4.3.



Gambar-4.3 Rangkaian peralatan untuk mengukur gain

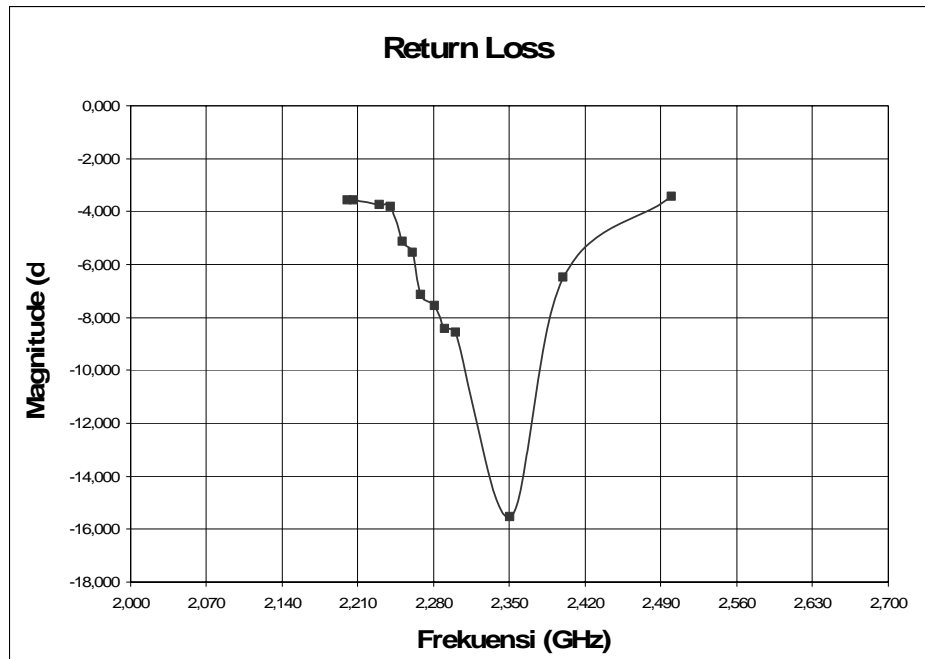
Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pengukuran *gain* antena untuk mengurangi terjadinya kesalahan pengukuran adalah:

1. sistem berada pada frekuensi yang stabil
2. antena pengirim dan penerima saling berhadapan pada berkas maksimumnya,
3. antena memenuhi kriteria medan jauh,
4. semua komponen dalam kondisi *matching*.

4.2. HASIL PENGUKURAN PORT TUNGGAL

4.2.1. Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal

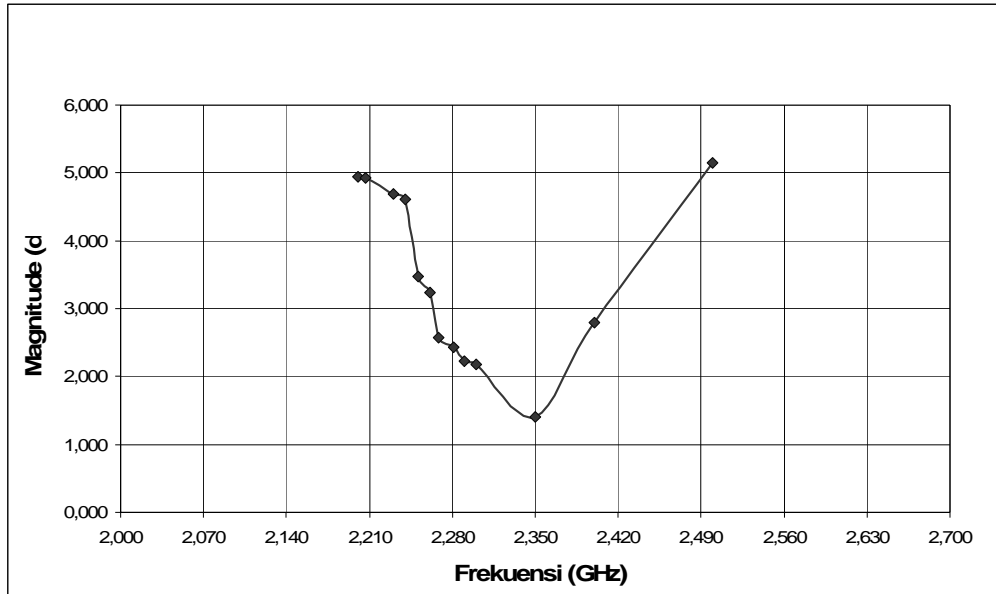
Grafik yang didapatkan untuk antena mikrostrip elemen tunggal yang telah diukur dapat dilihat pada Gambar 4.4. dan Gambar-4.5 berturut-turut yang menunjukkan hasil *return loss* dan VSWR antena mikrostrip antena elemen tunggal.



Gambar-4.4 Grafik Return Loss Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal

Dari Gambar-4.4 diperoleh nilai return loss < -10 yang berada pada rentang 2,31 - 2,38 GHz (70 MHz) frekuensi resonan pada 2,35 GHz dengan *return loss* minimum -15,689 dB. Dari data tersebut diperoleh *impedance bandwidth* sebesar :

$$\begin{aligned} BW &= ((f_{\text{atas}} - f_{\text{bawah}}) / f_{\text{tengah}}) \times 100\% \\ &= ((2,3799 - 2,3091) / 2,35) \times 100\% \\ &= 3,32\% \end{aligned}$$



Gambar-4.5 Grafik VSWR Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal

Dari Gambar-4.5 diperlihatkan perolehan *impedance bandwidth* pada nilai VSWR <1,9 pada rentang frekuensi 2,3 – 2,385 GHz (75 MHz) sehingga diperoleh :

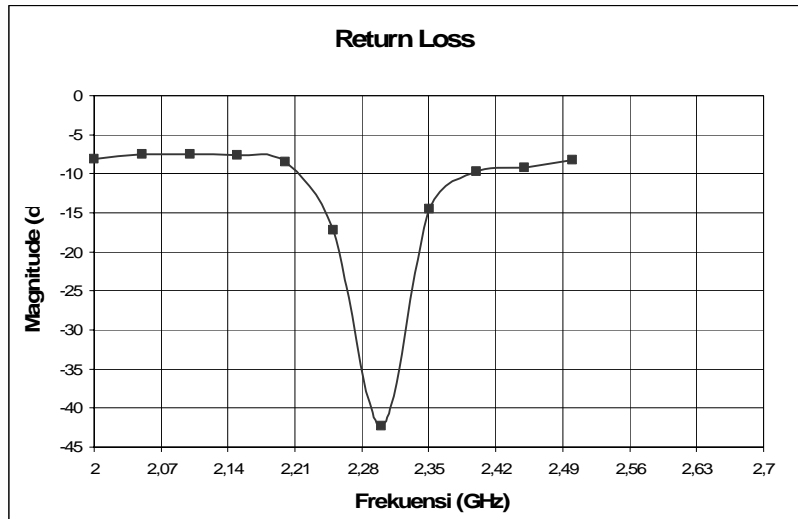
$$\begin{aligned}
 BW &= ((f_{atas} - f_{bawah})/f_{tengah}) \times 100\% \\
 &= ((2,385 - 2,3)/2,35) \times 100\% \\
 &= 3,6 \%
 \end{aligned}$$

4.2.2. Hasil Pengukuran Antena Array 4-Elemen

Grafik yang didapatkan untuk antena mikrostrip elemen tunggal yang telah diukur dapat dilihat pada Gambar 4.6. dan Gambar-4.7 berturut-turut yang menunjukkan hasil *return loss* dan VSWR antena mikrostrip *biquad array* 4-elemen.

Dari Gambar-4.6 diperoleh nilai *return loss* < -10 yang berada pada rentang 2,2135 - 2,382 GHz (168 MHz) frekuensi resonan pada 2,3 GHz dengan *return loss* minimum -45,234 dB. Dari data tersebut diperoleh *impedance bandwidth* sebesar :

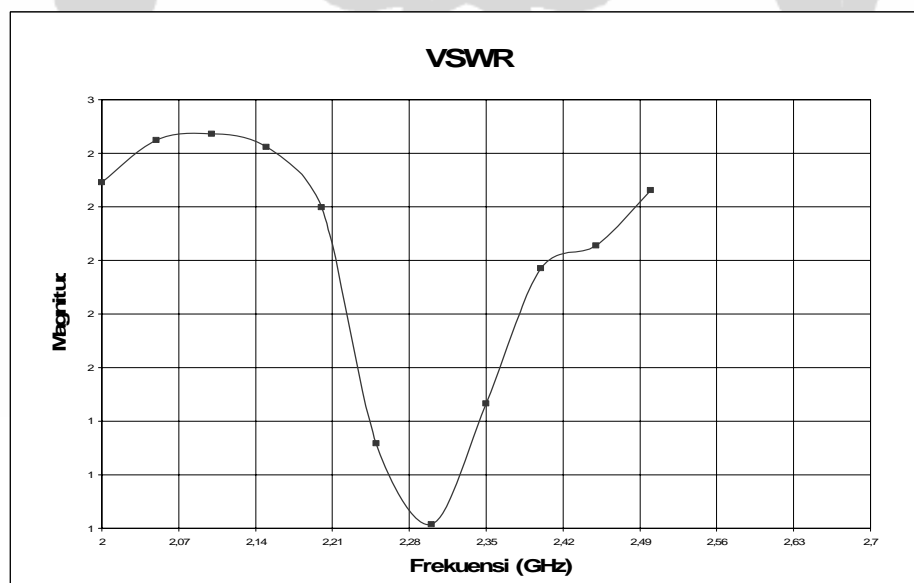
$$\begin{aligned}
 BW &= ((f_{atas} - f_{bawah})/f_{tengah}) \times 100\% \\
 &= ((2,3832 - 2,2135)/2,3) \times 100\% \\
 &= 7,32 \%
 \end{aligned}$$



Gambar-4.6 Grafik Return Loss Hasil Pengukuran Antena Array 4-Elemen

Dari Gambar-4.7 diperoleh nilai VSWR < 2, yang berada pada rentang 2,245 - 2,395 GHz (150 MHz) frekuensi resonan pada 2,3 GHz dengan *return loss* minimum -45,234 dB. Dari data tersebut diperoleh *impedance bandwidth* sebesar :

$$\begin{aligned}
 BW &= ((f_{atas} - f_{bawah}) / f_{tengah}) \times 100\% \\
 &= ((2,3832 - 2,245) / 2,3) \times 100\% \\
 &= 7\%
 \end{aligned}$$

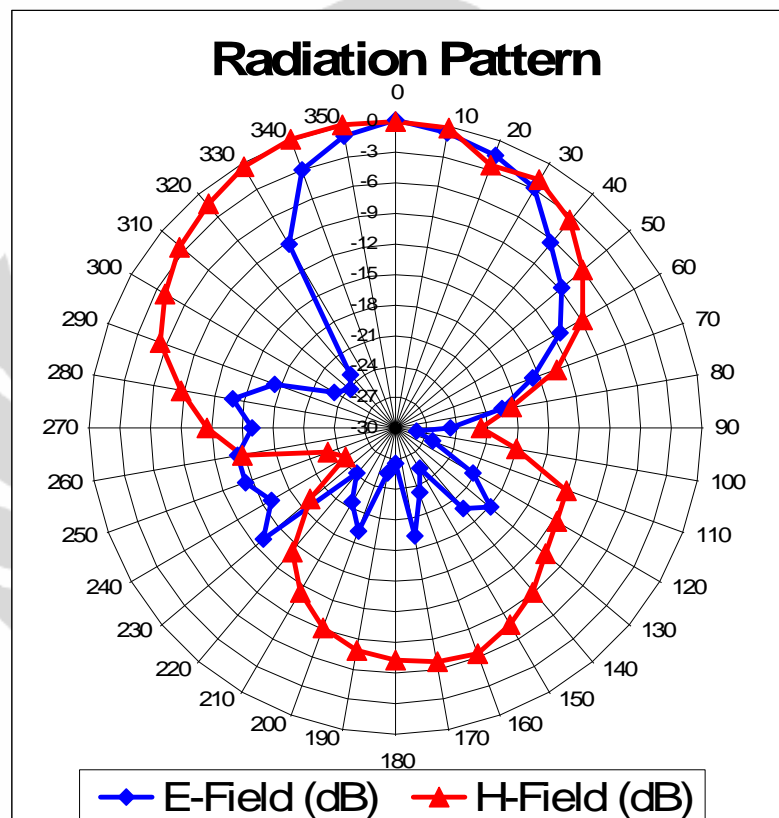


Gambar-4.7 Grafik VSWR Hasil Pengukuran Antena Array 4-Elemen

4.3. HASIL PENGUKURAN PORT GANDA

4.3.1. Hasil Pengukuran Pola Radiasi antena elemen tunggal

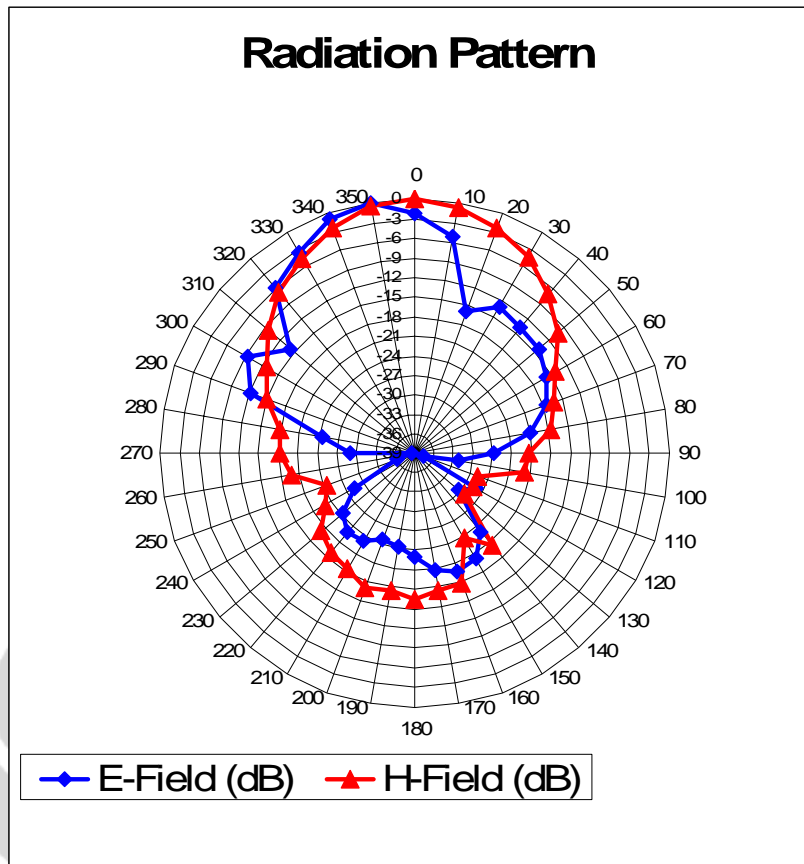
Dari Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa pola radiasi antena mikrostrip *array* elemen tunggal pada frekuensi 2,3 GHz cenderung berbentuk *unidirectional* baik untuk medan E maupun medan H-nya. Berkas maksimum di *mainlobe* pada medan E dan medan H adalah pada sudut 0° , dengan *half power beamwidth* (*HPBW*) sebesar 50° (dari sudut $340^\circ - 30^\circ$) pada medan E dan 80° (dari sudut $310^\circ - 30^\circ$) pada medan H.



Gambar 4.8 Grafik pola radiasi medan E dan H antena elemen tunggal

4.3.2. Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena Array 4-elemen

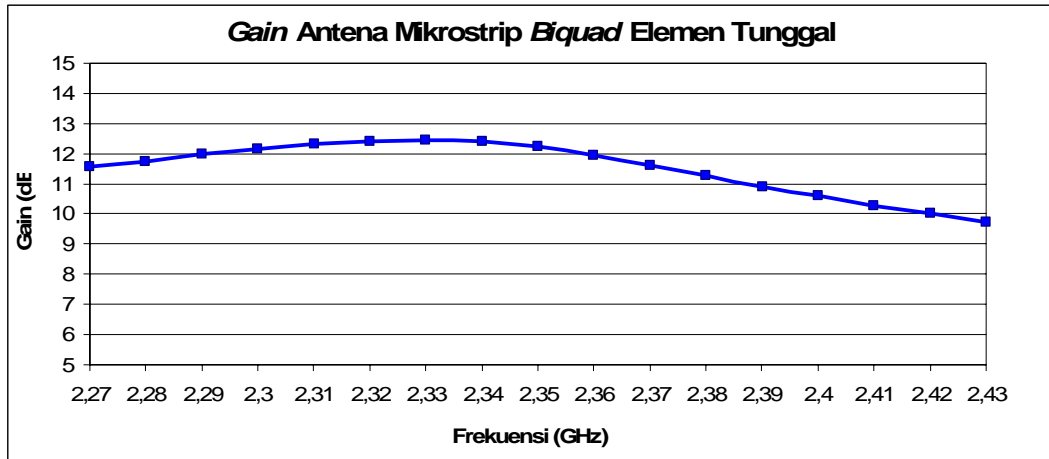
Dari Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa pola radiasi antena mikrostrip *array* 4-elemen pada frekuensi 2,3 GHz cenderung berbentuk *unidirectional* baik untuk medan E maupun medan H-nya. Berkas maksimum di *mainlobe* pada medan E pada sudut 350° dan medan H adalah pada sudut 0° . *Half power beamwidth* diperoleh sebesar 60° ($320^\circ - 20^\circ$) pada medan E dan 50° ($330^\circ - 20^\circ$) pada medan H.



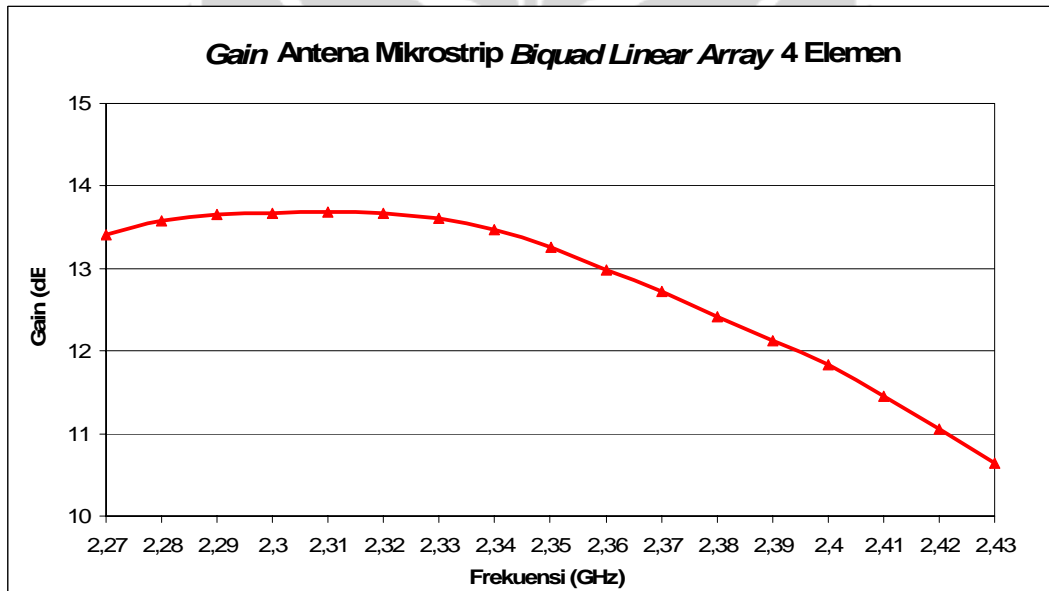
Gambar 4.9 Grafik pola radiasi medan E dan H antenna array 4-elemen

4.4. HASIL PENGUKURAN GAIN

Pada penelitian ini dilakukan metode pengukuran 3 antenna, yaitu : antenna kawat dipole tunggal, antenna biquad array 4-elemen dan antenna biquad elemen tunggal. Hasil perhitungan akan dilampirkan pada lembaran **LAMPIRAN D**. Pengukuran dilakukan mulai pada frekuensi 2,27 – 2,43 GHz dengan kenaikan setiap 10 MHz. Hasil pengukuran dapat terlihat pada Gambar-4.10 dan Gambar-4.11, berturut-turut hasil pengukuran gain antenna elemen tunggal dan antenna *array* 4-elemen. Dari gambar terlihat besar gain elemen tunggal berada sekitar 9,744 – 12,453 dBi, nilai gain tertinggi sebesar 12,453 dBi dicapai pada frekuensi 2,33 GHz. Sedangkan gain yang dicapai pada antenna *linear array* 4-elemen berkisar antara 10,641 – 13,683 dBi, nilai gain tertinggi sebesar 13,683 dBi dicapai pada frekuensi 2,33 GHz.



Gambar 4.10 Grafik Gain Antena Elemen Tunggal

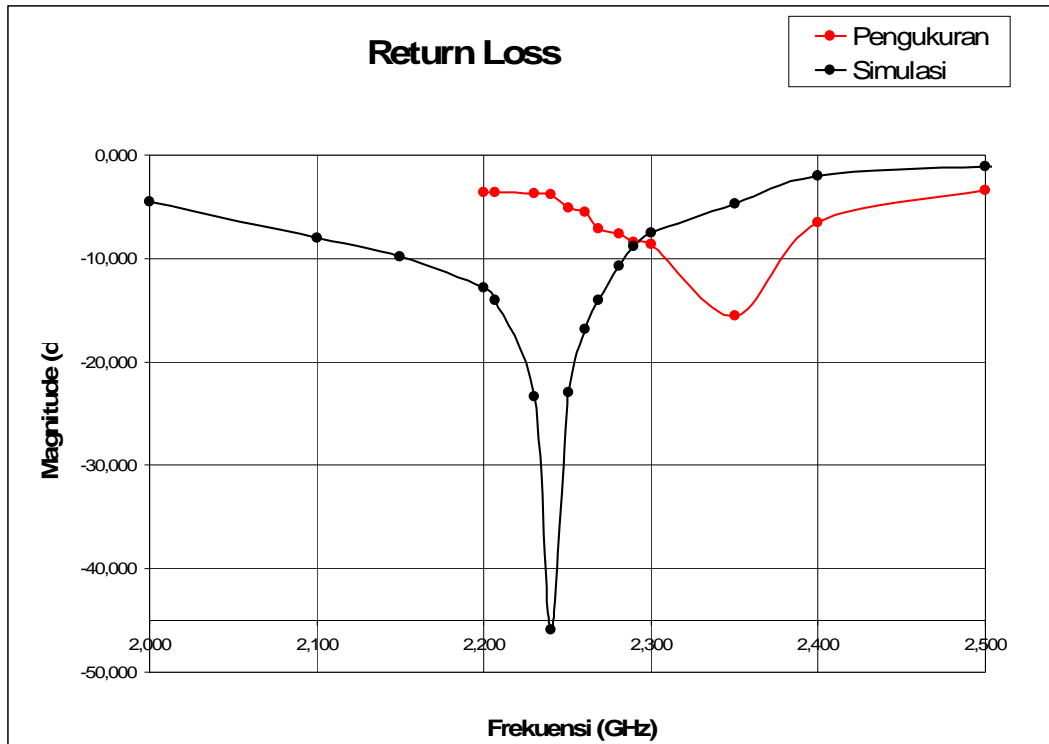


Gambar-4.11. Grafik Gain Antena Array 4-Elemen

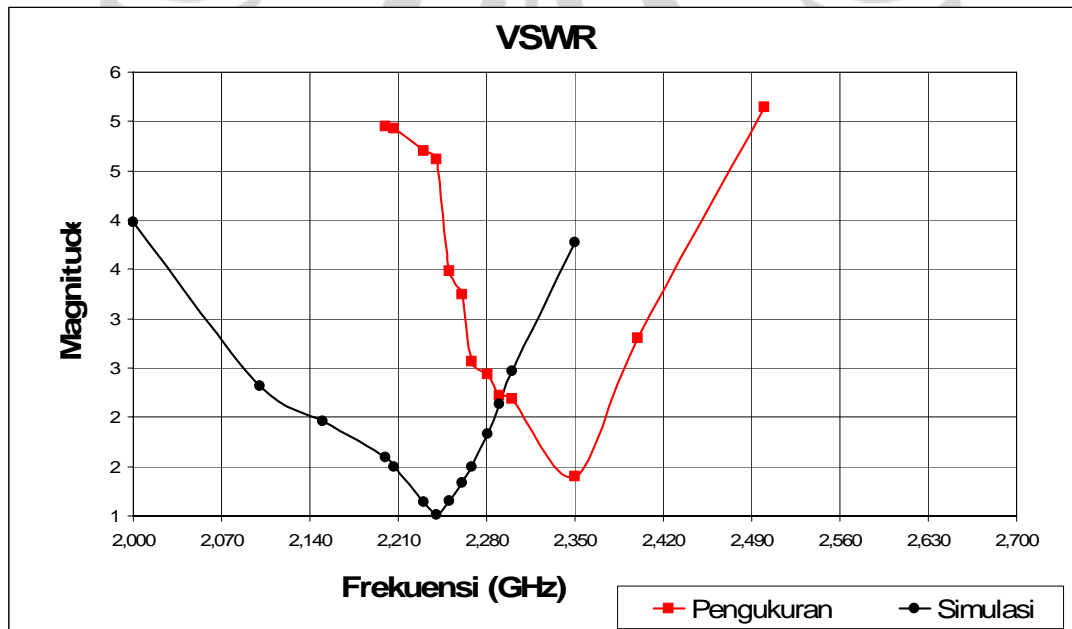
4.5. ANALISA HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN

4.5.1 Analisa Pengukuran Port tunggal

Gambar-4.12 dan Gambar-4.13 berturut-turut menunjukkan perbandingan hasil simulasi dan pengukuran terhadap return loss dan VSWR pada antena elemen tunggal. Dari gambar terlihat adanya pergeseran impedansi bandwidth dan frekuensi kerja antena untuk menyesuaikan frekuensi kerja hasil pengukuran sebesar 110 MHz (perhitungan simulasi telah diberikan pada sub bab 3.3 dan 3.4).



Gambar-4.12. Perbandingan return loss hasil simulasi dan pengukuran antenna elemen tunggal

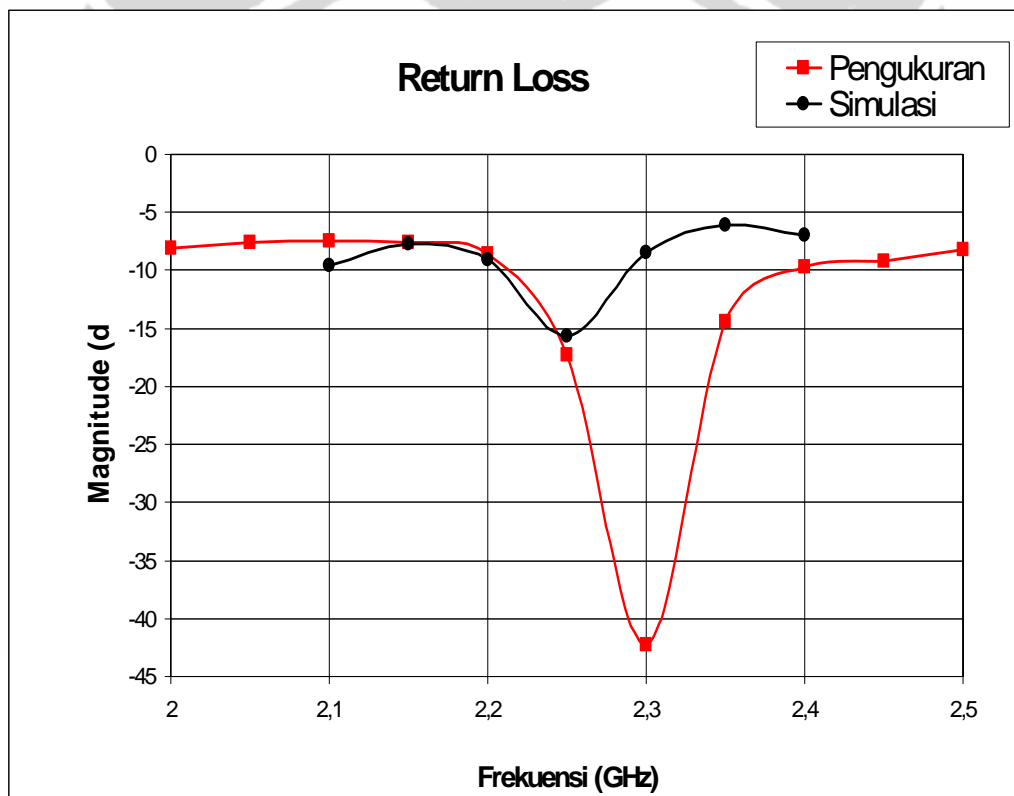


Gambar-4.13 Perbandingan VSWR hasil simulasi dan pengukuran antenna elemen tunggal

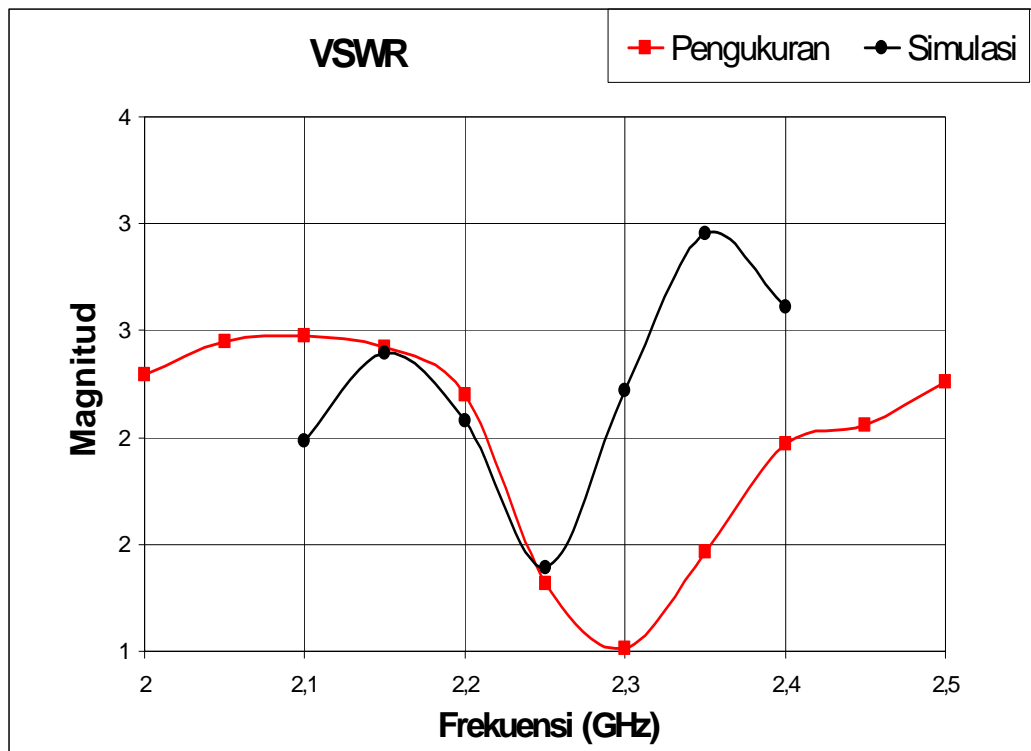
Tabel 4.1 Perbandingan Hasil pengukuran dengan simulasi antena elemen tunggal

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Impedansi <i>bandwidth</i>	2,1568 – 2,2844 GHz 127,6 MHz atau 5,7 %	2,31 – 2,38 GHz 70 MHz atau 3 %
Frekuensi tengah	2,24 GHz	2,35 GHz
<i>Return loss</i> (di frekuensi resonan)	-45,87 dB	-15,85 dB
VSWR (di frekuensi resonan)	1,01	1.4

Gambar-4.14 dan Gambar-4.15 berturut-turut menunjukkan perbandingan hasil simulasi dan pengukuran terhadap return loss dan VSWR pada antena *linear array* 4-elemen. Dari gambar terlihat adanya pergeseran impedansi bandwidth dan frekuensi kerja antena pada hasil pengukuran sebesar kurang lebih 110 MHz, tetapi masih mencakup rentang bandwidth yang diinginkan yaitu pada rentang 2300 -2390 MHz.



Gambar-4.14 Perbandingan return loss hasil simulasi dan pengukuran antena array 4-elemen



Gambar-4.15 Perbandinagn VSWR hasil simulasi dan pengukuran antenna array 4-elemen

Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Pengukuran dengan Simulasi antenna array 4-elemen

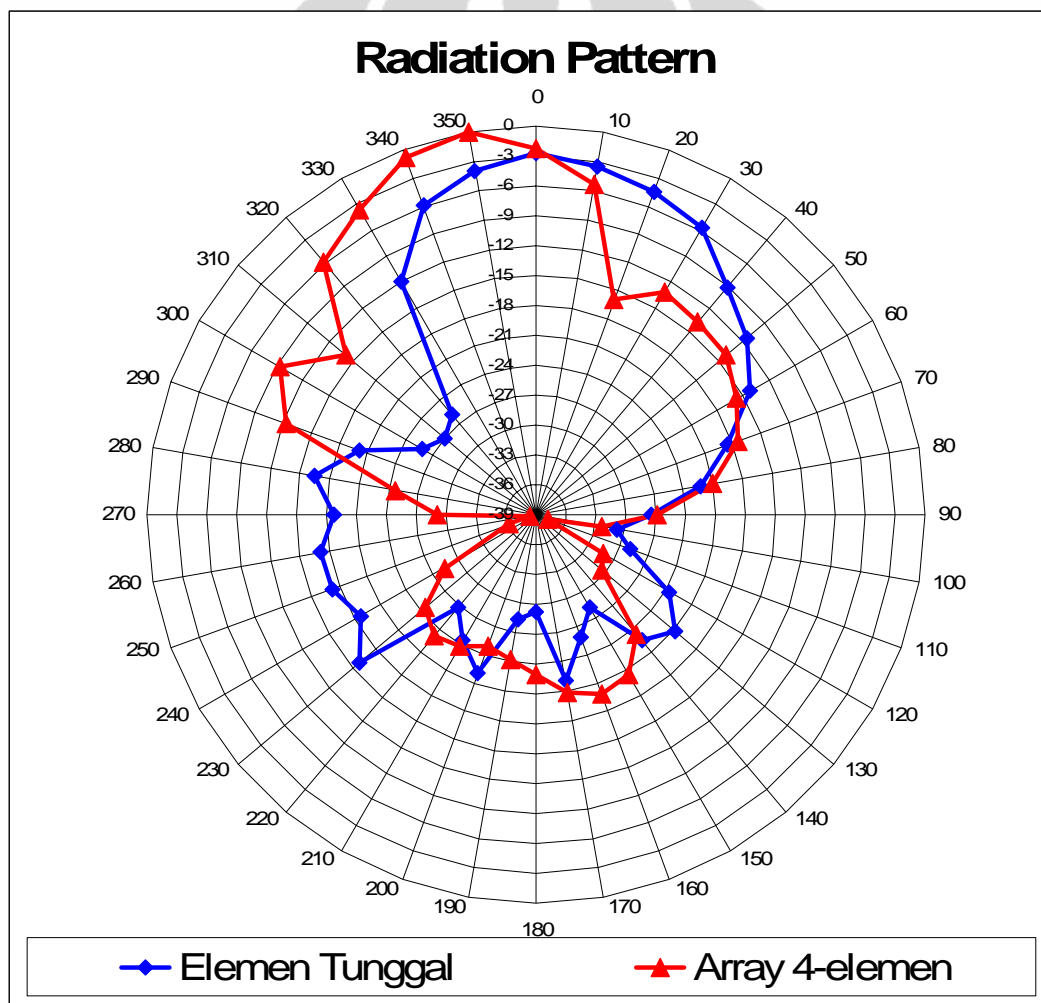
Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Impedansi <i>bandwidth</i>	2,1969 – 2,2463 GHz 49,4 MHz atau 3 %	2,245 – 2,395 GHz 150 MHz atau 7,8 %
Frekuensi tengah	2,24 GHz	2,3 GHz
<i>Return loss</i> (di frekuensi resonan)	-15,72 dB	-43,85 dB
VSWR (di frekuensi resonan)	1,39	1.01

4.5.2 Analisa Pengukuran Port Ganda

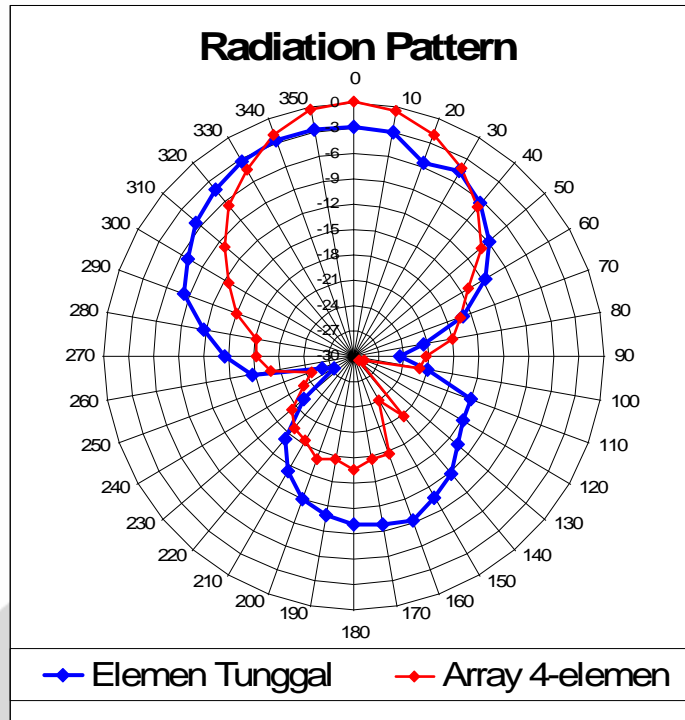
Gambar-4.16 menunjukkan perbandingan antara pola radiasi antenna elemen tunggal dengan antenna array 4-elemen pada medan E. Pola radiasi kedua antenna menunjukkan pola *unidirectional* dengan berkas maksimum antenna elemen tunggal pada sudut 0° , sedangkan berkas maksimum antenna *array* 4-elemen pada sudut 350° .

Sedangkan pada Gambar-4.17 menunjukkan perbandingan antara pola radiasi antenna elemen tunggal dengan antenna array 4-elemen pada medan H. Pola radiasi kedua antenna menunjukkan pola *unidirectional* dengan berkas maksimum antenna elemen tunggal dan antenna *array* 4-elemen pada sudut 0° .

Dari kedua gambar tersebut dapat pula dilihat adanya peningkatan *magnitude* antenna elemen tunggal menjadi antenna *linear array* 4-elemen sebesar 3 dB. Peningkatan ini menunjukkan adanya peningkatan gain, dan adanya perbandingan terbalik dengan lebar sudut radiasi (*beamwidth*).



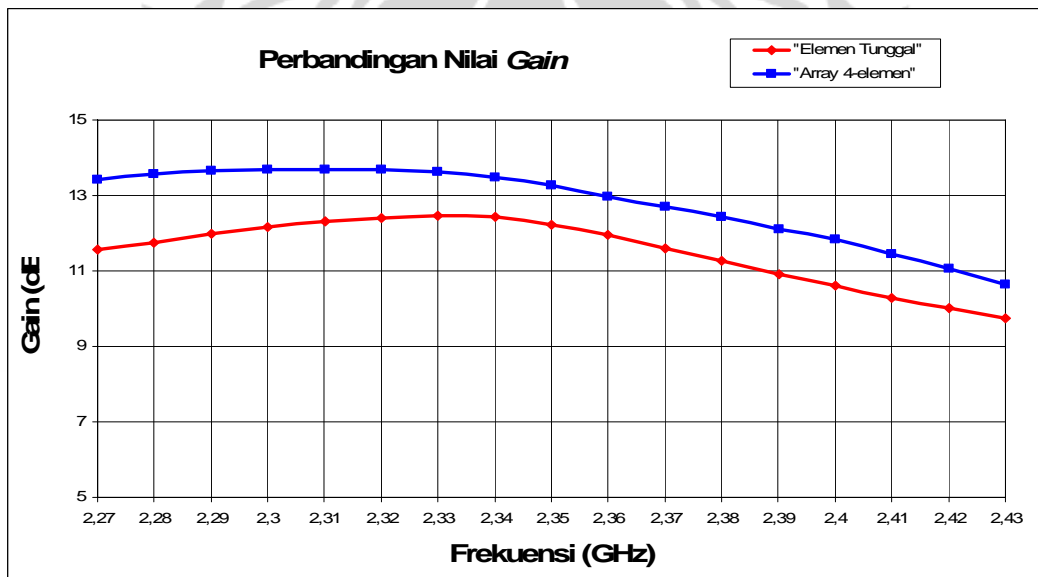
Gambar 4.16. Perbandingan Pola Radiasi medan E Antena Elemen Tunggal dan Array 4-Elemen



Gambar 4.17. Perbandingan Pola Radiasi medan H Antena Elemen Tunggal dan Array 4-Elemen

4.5.3 Analisa Pengukuran Gain

Dari hasil pengukuran gain memperlihatkan bahwa antenna array 4-elemen memiliki gain yang lebih besar dibandingkan dengan antenna elemen tunggal.



Gambar 4.18. Perbandingan Gain Antena Elemen Tunggal dan Array 4-Elemen

Tabel-4.3 Perbandingan nilai gain antenna biquad

Frekuensi (GHz)	Gain (dB)	
	Elemen Tunggal	Array 4-elemen
2,27	11,559	13,403
2,28	11,754	13,576
2,29	11,987	13,656
2,3	12,168	13,676
2,31	12,320	13,683
2,32	12,405	13,675
2,33	12,453	13,614
2,34	12,421	13,474
2,35	12,224	13,259
2,36	11,946	12,983
2,37	11,610	12,716
2,38	11,260	12,423
2,39	10,915	12,118
2,4	10,603	11,841
2,41	10,291	11,448
2,42	10,015	11,057
2,43	9,744	10,641

Dari Gambar 4.17 dapat dilihat bahwa antenna linear *array* 4 elemen memiliki nilai *gain* yang lebih tinggi dibandingkan dengan antenna elemen tunggal. Persentase peningkatan nilai *gain* maksimum antenna *planar array* 4 elemen dibandingkan *gain* maksimum antenna elemen tunggal adalah :

$$\begin{aligned} \% \text{ gain} &= \frac{\text{gain maks. planar array 4 elemen} - \text{gain maks. elemen tunggal}}{\text{gain maks. elemen tunggal}} \\ &= \frac{((13,683) - 12,453)/12,453} \times 100 \% \\ &= 9,876 \% \end{aligned}$$

Hal ini membuktikan bahwa dengan digunakannya teknik *array* maka *gain* dari suatu antenna dapat ditingkatkan. Oleh karena itu dengan memperbanyak jumlah elemen yang identik pada antenna *array*, maka diharapkan *gain* antenna akan semakin besar.

4.5.4 Analisa Kesalahan Umum

Analisa terhadap antenna hasil simulasi dengan antenna hasil pengukuran, menghasilkan penyimpangan, beberapa penyebabnya antara lain :

1. Ketebalan konduktor tembaga dari substrat yang digunakan tidak menjadi parameter yang dihitung dalam perancangan dan simulasi. Ketebalan tembaga

pada substrat walaupun sangat kecil berpengaruh dalam penyaluran gelombang elektromagnetik.

2. Adanya *mutual coupling* antar elemen *array*, menyebabkan tidak semua gelombang dipancarkan, tetapi sebagian diterima oleh elemen yang terdekat. Pada simulasi tidak memperhitungkan *mutual coupling* antara elemen *array*.
3. Bahan substrat memiliki nilai toleransi konstanta dielektrik substrat yaitu sekitar $\epsilon_r = 4,4 \pm 0,02$ serta adanya nilai toleransi pada *loss tangent* substrat.
4. Penyolderan konektor SMA dengan saluran pencatu mikrostrip yang kurang baik.
5. Pada simulasi tidak memperhitungkan tingkat temperatur dan kelembapan udara, tetapi pada saat pengukuran temperatur dan tingkat kelembapan berpengaruh pada propagasi gelombang dan resistansi udara.
6. Adanya pengaruh benda-benda yang ada di dalam ruang *anechoic chamber* yang menyebabkan refleksi gelombang yang dipancarkan antena. Benda-benda tersebut antara lain manusia, *network analyzer*, *power sensor*, *power meter*, dan konektor.
7. Adanya rugi-rugi pada kabel penghubung, *port* SMA, tembaga/konduktor pada substrat, konektor pada *network analyzer*, dan *power sensor*

4.5.5. Pencapaian Spesifikasi Antena Elemen Tunggal dan Antena Linear Array 4-elemen Hasil Pengukuran

Tabel 4.4 memperlihatkan perbandingan pencapaian parameter antena elemen tunggal dan antena *linear array* 4-elemen hasil pengukuran.

Tabel 4.4. Pencapaian parameter antena hasil pengukuran

Parameter Antena	Elemen Tunggal	Linear Array 4-Elemen
<i>Impedance Bandwidth</i>	2,31 – 2,38 GHz 70 MHz atau 3 %	2245 – 2395 MHz 150 MHz atau 7%
Gain	±11 dBi	± 13 dBi
VSWR	1,9 : 1	1,9 : 1
Impedansi	37,739 Ω – 52,250 Ω	37,72 Ω – 51,059 Ω