

BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP KOTAK-LINGKARAN *PATCH* ARRAY EMPAT ELEMEN UNTUK FREKUENSI KERJA 2,4 GHz

4.1 Tinjauan Umum

Antena mikrostrip merupakan antenna yang dibuat di atas bahan substrat tertentu dengan elemen peradiasi yang terletak di salah satu sisi substrat, sedangkan sisi yang lain adalah lapisan konduktor yang berfungsi sebagai bidang pentanahan (*ground plane*).

Dalam bab ini akan dibahas mengenai bahan substrat, bahan pelapis substrat dan dimensi elemen peradiasi. Selanjutnya akan dilakukan simulasi dengan *software* berbasis MoM untuk mendapatkan VSWR, *bandwidth*, RL dan *gain* berdasarkan hasil perancangan dengan menggunakan dasar teori yang ada pada bab II.

4.2 Spesifikasi Substrat dan Pelapis Substrat

Dalam perancangan antena mikrostrip perlu diketahui terlebih dahulu mengenai substrat yang akan digunakan. Bahan substrat yang digunakan adalah sebagai berikut :

Bahan substrat : Epoxy Fiberglass – FR4

- Konstanta dielektrik (ϵ_r) = 4,5
- Ketebalan dielektrik (h) = 0,0016 m = 1,6 mm
- *Loss tangen* = 0,018

Bahan pelapis substrat (konduktor) : Tembaga

- Ketebalan bahan konduktor (t) = 0,0001 m
- Konduktifitas tembaga (σ) = $5,8 \times 10^7$ mho m^{-1}

Frekuensi kerja (f_r) = 2,4 GHz

Impedansi karakteristik saluran = 50 Ω

4.3 Perancangan Dimensi Antena Mikrostrip Elemen Peradiasi Kotak

Untuk perancangan dimensi elemen peradiasi kotak, maka terlebih dahulu harus ditentukan nilai frekuensi kerja (f_r) yang direncanakan yaitu 2,4 GHz dengan nilai perambatan di ruang bebas (c) 3×10^8 (m/s). Panjang gelombang di ruang bebas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-46) :

$$\lambda_o = \frac{c}{f_r}$$

$$\lambda_o = \frac{3 \times 10^8}{2,4 \times 10^9} = 125 \text{ mm}$$

Panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-47) :

$$\lambda_d = \frac{\lambda_o}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$\lambda_d = \frac{125}{\sqrt{4,5}} = \frac{125}{2,12132} = 58,925 \text{ mm}$$

Lebar elemen peradiasi kotak (W) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-48) :

$$W = \frac{c}{2 \cdot f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$$

$$W = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 2,4 \times 10^9} \sqrt{\frac{2}{4,5 + 1}} = \frac{3}{48} \sqrt{\frac{2}{5,5}} = 37,69 \text{ mm}$$

Untuk menentukan panjang elemen peradiasi kotak (L), terlebih dahulu harus ditentukan konstanta dielektrik efektif, yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-49) :

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{\text{reff}} &= \frac{4,5 + 1}{2} + \frac{4,5 - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{1,6}{37,69} \right]^{-\frac{1}{2}} \\ &= 4,174397511 \approx 4,17 \end{aligned}$$

Maka panjang elemen peradiasi (L) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-50) :

$$L = \frac{c}{2 \cdot f_r \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} - 2 \cdot \Delta L$$

dengan :

$$\Delta L = 0,412 \cdot h \cdot \frac{\epsilon_{\text{reff}} + 0,3 \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{\epsilon_{\text{reff}} - 0,258 \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)}$$

$$\Delta L = 0,412 \cdot 1,6 \cdot \frac{4,17 + 0,3 \left(\frac{37,69}{1,6} + 0,264 \right)}{4,17 - 0,258 \left(\frac{37,69}{1,6} + 0,8 \right)}$$

$$= 0,412 \cdot 1,6 \cdot \frac{106,49328}{5,29632}$$

$$= 0,6592 \cdot 1,17496247$$

$$= 0,736653526 \text{ mm}$$

maka :

$$L = \frac{c}{2 \cdot f_r \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} - 2 \cdot \Delta L$$

$$L = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 2,4 \times 10^9 \cdot \sqrt{4,17}} - 2 \cdot 0,73665 \cdot 10^{-3}$$

$$= \frac{3}{98,01877 \times 10^8} - 1,4733 \times 10^{-3}$$

$$= 0,030606382 - 1,4733 \times 10^{-3}$$

$$= 0,02913 \text{ m} \approx 29,13 \text{ mm}$$

Dengan lebar (W) = 37,69 mm dan panjang (L) = 29,13 mm elemen peradiasi kotak, maka dapat diketahui impedansi terminal elemen peradiasi kotak dengan menggunakan persamaan (2-54) :

$$\begin{aligned}
 Z_A &= 90 \cdot \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left(\frac{L}{W} \right)^2 \\
 &= 90 \cdot \frac{4,5^2}{4,5 - 1} \left(\frac{29,13}{37,69} \right)^2 = 90 \cdot \frac{20,25}{3,5} \cdot 0,597349761 \\
 &= 311,0485542 \ \Omega \approx 311 \ \Omega
 \end{aligned}$$

Pada perancangan dimensi antena mikrostrip elemen peradiasi kotak, dimensi antena akan dioptimalkan dengan memangkas ukuran lebarnya sehingga lebar elemen peradiasi kotak akan sama dengan panjangnya. Namun, hal ini akan berdampak pada kenaikan nilai impedansi terminal antena.

$$Z_A = 90 \frac{4,5^2}{4,5 - 1} \left(\frac{29,13}{29,13} \right)^2 \approx 520 \ \Omega$$

Jadi dimensi antena mikrostrip elemen peradiasi kotak pada frekuensi 2,4 GHz adalah $W = L = 29,13$ mm.

4.4 Perancangan Dimensi Saluran Transmisi Antena Mikrostrip Satu Elemen Peradiasi Kotak

Model saluran transmisi yang digunakan dalam perancangan ini adalah model *inset feed*, yang dinyatakan dengan menggunakan persamaan (2-57) :

$$R_{in}(y = y_o) = R_{in}(y = 0) \cos^2 \left(\frac{\pi}{L} y_o \right)$$

dengan :

y_o = kedalaman saluran transmisi yang menjorok ke dalam elemen peradiasi (mm)

L = panjang elemen peradiasi (mm)

$$R_{in}(y = y_o) = R_{in}(y = 0) \cos^2 \left(\frac{\pi}{L} y_o \right)$$

$$50 = 520 \cos^2 \left(\frac{180}{29,13} y_o \right)$$

$$y_o = \cos^{-1} \sqrt{\left(\frac{50}{520} \right)} \left(\frac{29,13}{180} \right)$$

$$y_o = 11,64 \text{ mm}$$

Pada perancangan dimensi saluran transmisi antenna mikrostrip satu elemen peradiasi kotak, nilai impedansi saluran transmisi yang direncanakan adalah 100Ω .

Lebar saluran transmisi (W_0) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-55) :

$$W_0 = \frac{377}{Z_0} x \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Dengan nilai $h = 1,6 \text{ mm}$ dan $\epsilon_r = 4,5$ maka :

$$W_0 = \frac{377}{100} x \frac{1,6}{\sqrt{4,5}}$$

$$W_0 = 2,84 \text{ mm}$$

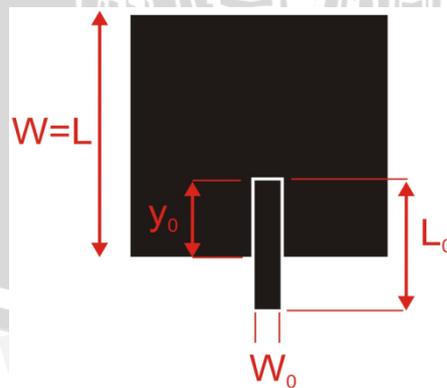
Panjang saluran transmisi (L_0) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-56) :

$$L_0 = \frac{1}{4} \lambda_d$$

Dengan nilai $\lambda_d = 58,925 \text{ mm}$ maka :

$$\begin{aligned} L_0 &= \frac{1}{4} \cdot 58,925 \\ &= 14,72 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dimensi antenna mikrostrip dengan satu elemen peradiasi kotak dapat ditunjukkan pada Gambar 4.1.

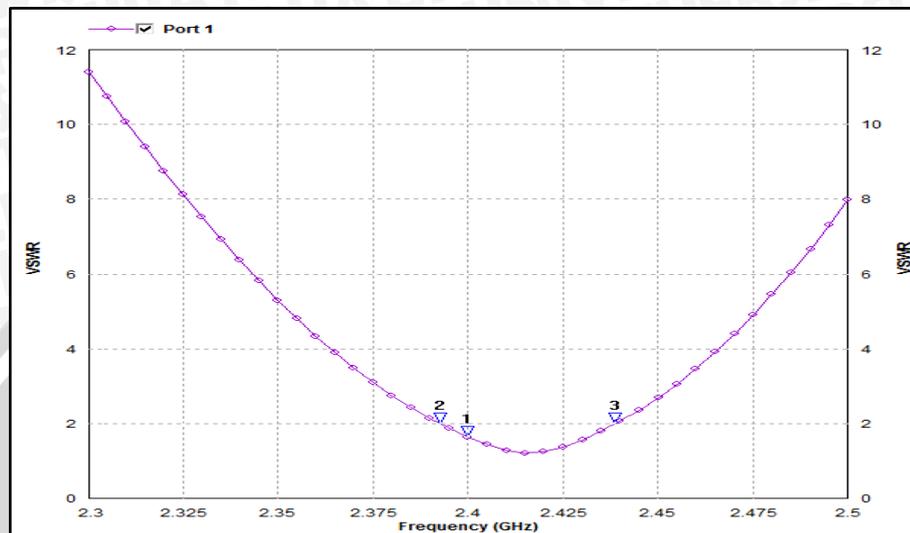


Gambar 4.1 Antena Mikrostrip dengan Satu Elemen Peradiasi Kotak

Sumber : Perancangan

4.5 Simulasi Antena Mikrostrip Satu Elemen Peradiasi Kotak

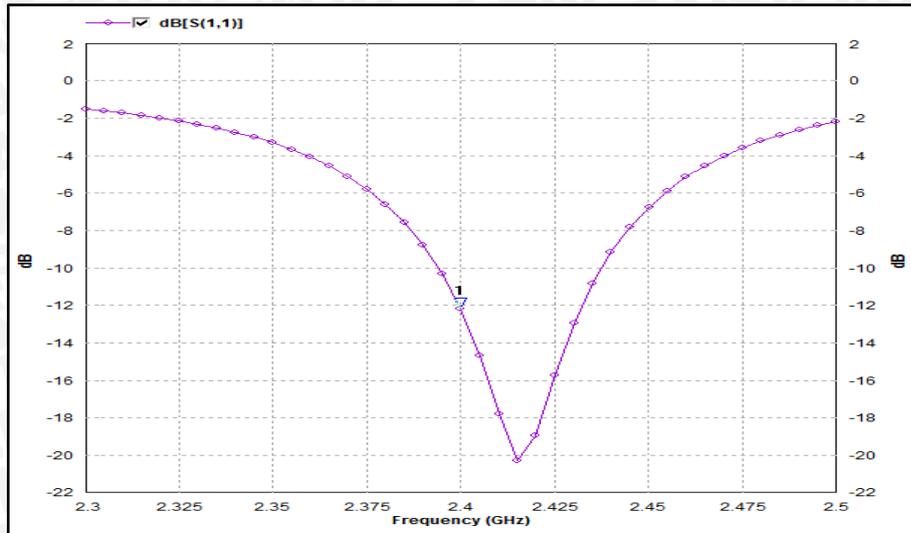
Simulasi antena mikrostrip satu elemen peradiasi kotak dapat dilakukan dengan menggunakan *software* berbasis MoM dan didapatkan hasil sebagai berikut :



Grafik 4.1 Grafik VSWR Terhadap Frekuensi Pada Antena Mikrostrip Satu Elemen Peradiasi Kotak

Sumber : Simulasi

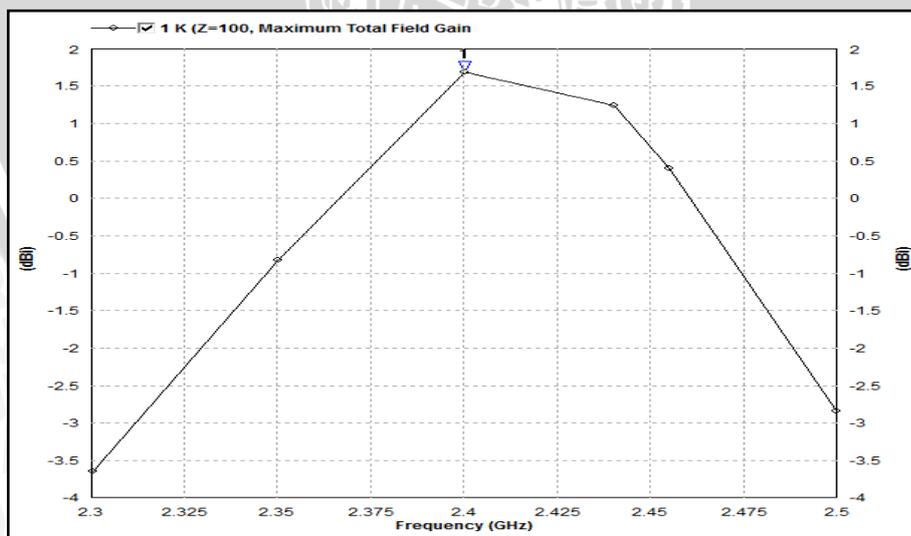
Hasil simulasi pada Grafik 4.1 menunjukkan nilai VSWR terhadap frekuensi pada antena mikrostrip dengan satu elemen peradiasi kotak. Data hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai VSWR pada frekuensi 2,4 GHz adalah 1,65 (*marker 1 Grafik 4.1*) dan besarnya *bandwidth* adalah 0,045 GHz (*selisih frekuensi antara marker 2 dengan marker 3 Grafik 4.1*). Sebuah antena dapat dikatakan bekerja dengan baik jika mempunyai nilai $1 < \text{VSWR} < 2$.



Grafik 4.2 Grafik RL Terhadap Frekuensi Pada Antena Mikrostrip
 Satu Elemen Peradiasi Kotak

Sumber : Simulasi

Hasil simulasi pada Grafik 4.2 menunjukkan nilai RL terhadap frekuensi pada antena mikrostrip dengan satu elemen peradiasi kotak. Data hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai RL pada frekuensi 2,4 GHz adalah -12,21 (*marker 1 Grafik 4.2*). Sebuah antena dapat dikatakan bekerja dengan baik jika mempunyai nilai $RL < -10$ dB.



Grafik 4.3 Grafik Gain Terhadap Frekuensi Pada Antena Mikrostrip
 Satu Elemen Peradiasi Kotak

Sumber : Simulasi

Hasil simulasi pada Grafik 4.3 menunjukkan nilai *gain* terhadap frekuensi pada antenna mikrostrip dengan satu elemen peradiasi kotak. Data hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai *gain* pada frekuensi 2,4 GHz adalah 1,68 (*marker 1 Grafik 4.3*). Sebuah antenna dapat dikatakan bekerja dengan baik jika mempunyai nilai *gain* > 3 dBi.

Berdasarkan data VSWR, RL dan *gain* dari hasil simulasi diatas, antenna mikrostrip dengan satu elemen peradiasi kotak yang dirancang belum dapat bekerja dengan baik pada frekuensi kerja yang diinginkan yaitu 2,4 GHz. Antenna dapat dikatakan bekerja dengan baik jika mempunyai nilai $1 < \text{VSWR} < 2$, $\text{RL} < -10$ dB dan *gain* > 3 dBi. Oleh karena itu, perlu ditambahkan satu elemen peradiasi, agar didapat kinerja antenna yang sesuai dengan yang diinginkan.

4.6 Perancangan Dimensi Saluran Transmisi Antena Mikrostrip Dua Elemen Peradiasi Kotak

Pada perancangan dimensi saluran transmisi antenna mikrostrip dua elemen peradiasi kotak, lebar (*W*) dan panjang (*L*) elemen peradiasi adalah 29,13 mm untuk frekuensi 2,4 GHz sama seperti pada subbab 4.3. Nilai impedansi saluran transmisi yang direncanakan adalah 200 Ω sehingga didapatkan impedansi total sebesar 100 Ω.

Lebar saluran transmisi (W_0) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-55) :

$$W_0 = \frac{377}{Z_0} \times \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Dengan nilai $h = 1,6$ mm dan $\epsilon_r = 4,5$ maka :

- Nilai $Z_0 = 200$ Ω

$$W_0 = \frac{377}{200} \times \frac{1,6}{\sqrt{4,5}}$$

$$W_0 = 1,42 \text{ mm}$$

- Nilai $Z_1 = 100$ Ω

$$W_1 = \frac{377}{100} \times \frac{1,6}{\sqrt{4,5}}$$

$$W_l = 2,84 \text{ mm}$$

Panjang saluran transmisi (L_0) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-56) :

$$L_0 = \frac{1}{4} \lambda_d$$

Dengan nilai $\lambda_d = 58,925 \text{ mm}$ maka :

$$\begin{aligned} L_0 &= \frac{1}{4} \cdot 58,925 \\ &= 14,72 \text{ mm} \end{aligned}$$

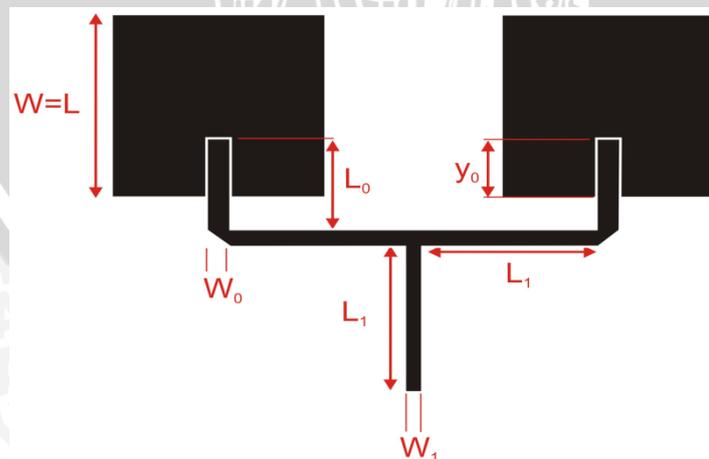
Jarak antar elemen peradiasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-59) :

$$\begin{aligned} r &\geq 0,6 \lambda_d \\ r &\geq 0,6 \times 0,0589 \\ r &\geq 0,0353 \text{ m} = 35,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas, antara pusat elemen peradiasi satu dengan pusat elemen peradiasi yang lain harus memiliki jarak minimum sebesar 35,3 mm, agar hal tersebut dapat diwujudkan, maka panjang saluran transmisi L_1 dapat ditentukan sebesar dua kali panjang L_0 . Dengan demikian syarat jarak antar elemen peradiasi pada persamaan (2-56) dapat terpenuhi.

$$L_1 = 2 \times 14,72 = 29,44 \text{ mm}$$

Dimensi antenna mikrostrip dengan dua elemen peradiasi kotak dapat ditunjukkan pada Gambar 4.2.

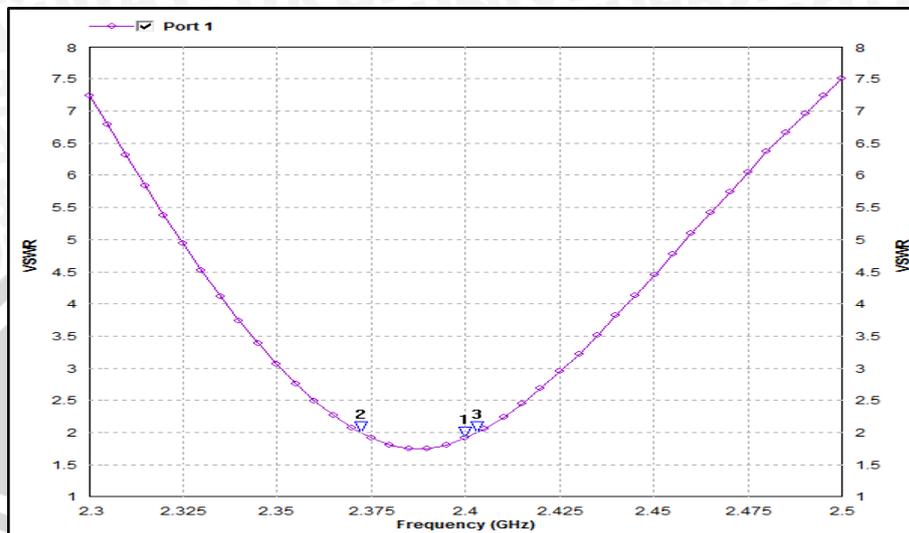


Gambar 4.2 Antena Mikrostrip dengan Dua Elemen Peradiasi Kotak

Sumber : Perancangan

4.7 Simulasi Antena Mikrostrip Dua Elemen Peradiasi Kotak

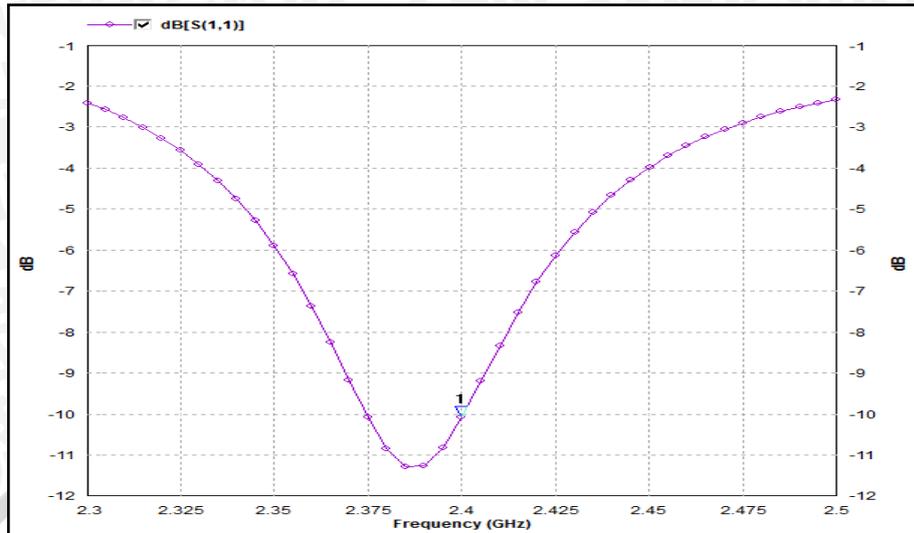
Simulasi antena mikrostrip dua elemen peradiasi kotak dapat dilakukan dengan menggunakan *software* berbasis MoM dan didapatkan hasil sebagai berikut :



Grafik 4.4 Grafik VSWR Terhadap Frekuensi Pada Antena Mikrostrip Dua Elemen Peradiasi Kotak

Sumber: Simulasi

Hasil simulasi pada Grafik 4.4 menunjukkan nilai VSWR terhadap frekuensi pada antena mikrostrip dengan dua elemen peradiasi kotak. Data hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai VSWR pada frekuensi 2,4 GHz adalah 1,91 (*marker 1 Grafik 4.4*) dan besarnya *bandwidth* adalah 0,030 GHz (*selisih frekuensi antara marker 2 dengan marker 3 Grafik 4.4*). Sebuah antena dapat dikatakan bekerja dengan baik jika mempunyai nilai $1 < \text{VSWR} < 2$.

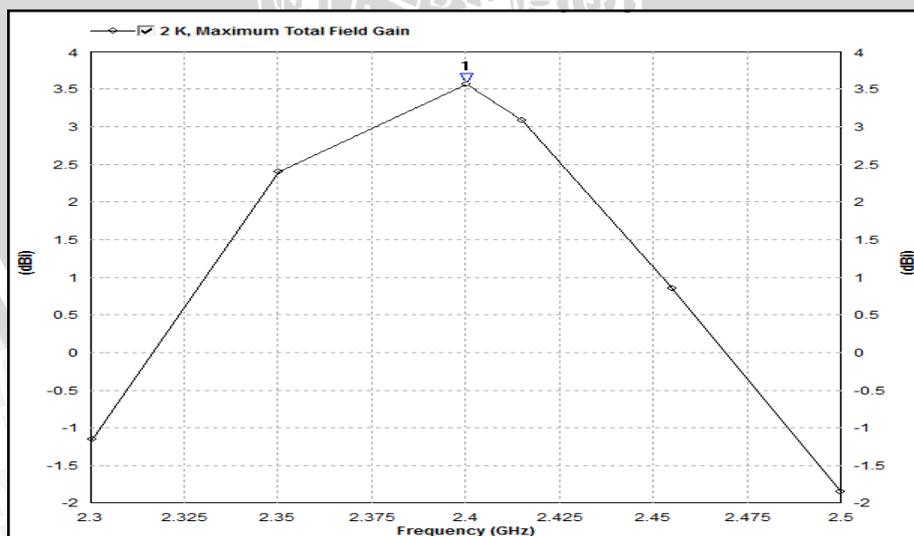


Grafik 4.5 Grafik RL Terhadap Frekuensi Pada Antena Mikrostrip

Dua Elemen Peradiasi Kotak

Sumber : Simulasi

Hasil simulasi pada Grafik 4.5 menunjukkan nilai RL terhadap frekuensi pada antena mikrostrip dengan dua elemen peradiasi kotak. Data hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai RL pada frekuensi 2,4 GHz adalah -10,07 (*marker 1 Grafik 4.5*). Sebuah antena dapat dikatakan bekerja dengan baik jika mempunyai nilai $RL < -10$ dB.



Grafik 4.6 Grafik Gain Terhadap Frekuensi Pada Antena Mikrostrip

Dua Elemen Peradiasi Kotak

Sumber : Simulasi



Hasil simulasi pada Grafik 4.6 menunjukkan nilai *gain* terhadap frekuensi pada antenna mikrostrip dengan dua elemen peradiasi kotak. Data hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai *gain* pada frekuensi 2,4 GHz adalah 3,57 (*marker 1 Grafik 4.6*). Sebuah antenna dapat dikatakan bekerja dengan baik jika mempunyai nilai *gain* > 3 dBi.

Berdasarkan data VSWR, RL dan *gain* dari hasil simulasi diatas, antenna mikrostrip dengan dua elemen peradiasi kotak yang dirancang sudah dapat bekerja dengan baik pada frekuensi kerja yang diinginkan yaitu 2,4 GHz. Dengan adanya penambahan satu elemen peradiasi pada antenna, dapat memperbaiki kinerja antenna.

4.8 Perancangan Dimensi Antena Mikrostrip Elemen Peradiasi Lingkaran

Untuk perancangan dimensi elemen peradiasi lingkaran, maka terlebih dahulu harus ditentukan nilai frekuensi kerja (f_r) yang direncanakan yaitu 2,4 GHz dengan nilai perambatan di ruang bebas (c) 3×10^8 (m/s). Panjang gelombang di ruang bebas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-46) :

$$\lambda_o = \frac{c}{f_r}$$

$$\lambda_o = \frac{3 \times 10^8}{2,4 \times 10^9} = 125 \text{ mm}$$

Panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-47) :

$$\lambda_d = \frac{\lambda_o}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$\lambda_d = \frac{125}{\sqrt{4,5}} = \frac{125}{2,12132} = 58,925 \text{ mm}$$

Untuk menentukan radius elemen peradiasi lingkaran (a), terlebih dahulu harus ditentukan fungsi logaritmik F , yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-53) :

$$F = \frac{8,791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}}$$

$$F = \frac{8,791 \times 10^9}{2,4 \times 10^9 \sqrt{4,5}}$$

$$= 1,727$$

Maka radius elemen peradiasi lingkaran (a) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-52) :

$$a = \frac{F}{\left\{ 1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[\ln \left(\frac{\pi F}{2h} \right) + 1,7726 \right] \right\}^{1/2}}$$

$$a = \frac{1,7267}{\left\{ 1 + \frac{2(1,6 \times 10^{-3})}{3,14 \times 4,5 \times 1,727} \left[\ln \left(\frac{3,14 \times 1,727}{2(1,6 \times 10^{-3})} \right) + 1,7726 \right] \right\}^{1/2}}$$

$$= 17,26 \text{ mm}$$

Jadi dimensi antenna mikrostrip elemen peradiasi lingkaran pada frekuensi 2,4 GHz adalah $a = 17,26$ mm.

4.9 Perancangan Dimensi Saluran Transmisi Antena Mikrostrip Satu Elemen Peradiasi Lingkaran

Model saluran transmisi yang digunakan dalam perancangan ini adalah model *inset feed*, yang dinyatakan dengan menggunakan persamaan (2-58) :

$$y_0 = 0,3d$$

dengan :

y_0 = kedalaman saluran transmisi yang menjorok ke dalam elemen peradiasi (mm)

d = diameter elemen peradiasi (mm)

$$y_0 = 0,3d$$

$$= 0,3 \times 2 \times 17,26 \text{ mm}$$

$$= 10,36 \text{ mm}$$

Pada perancangan dimensi saluran transmisi antena mikrostrip satu elemen peradiasi lingkaran, nilai impedansi saluran transmisi yang direncanakan adalah 100 Ω .

Lebar saluran transmisi (W_0) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-55) :

$$W_0 = \frac{377}{Z_0} x \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Dengan nilai $h = 1,6$ mm dan $\epsilon_r = 4,5$ maka :

$$W_0 = \frac{377}{100} x \frac{1,6}{\sqrt{4,5}}$$

$$W_0 = 2,84 \text{ mm}$$

Panjang saluran transmisi (L_0) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-56) :

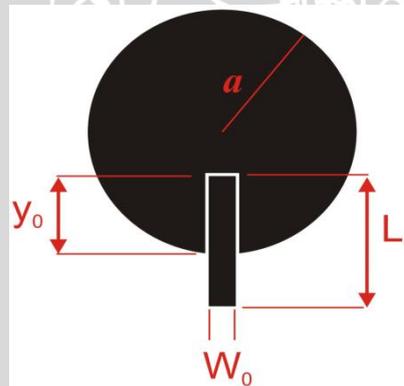
$$L_0 = \frac{1}{4} \lambda_d$$

Dengan nilai $\lambda_d = 58,925$ mm maka :

$$L_0 = \frac{1}{4} \cdot 58,925$$

$$= 14,72 \text{ mm}$$

Dimensi antena mikrostrip dengan satu elemen peradiasi lingkaran dapat ditunjukkan pada Gambar 4.3.

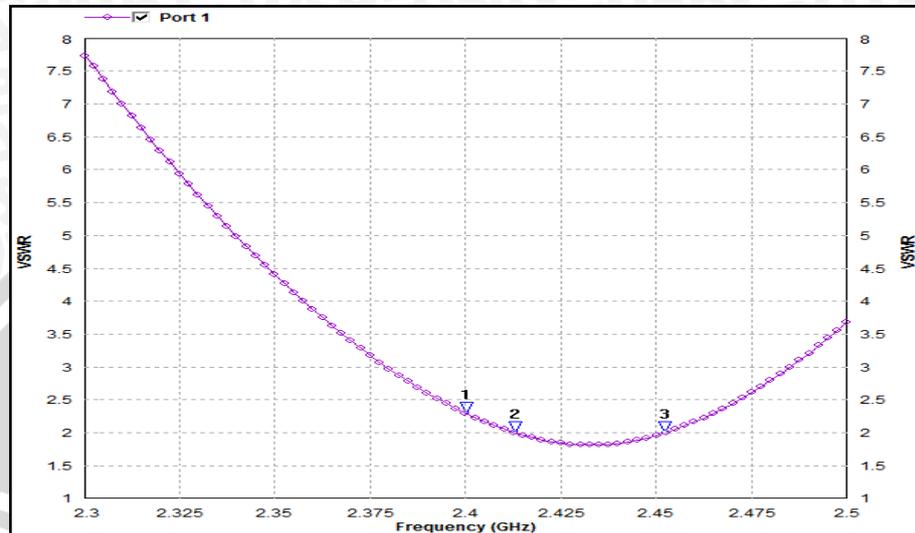


Gambar 4.3 Antena Mikrostrip dengan Satu Elemen Peradiasi Lingkaran

Sumber : Perancangan

4.10 Simulasi Antena Mikrostrip Satu Elemen Peradiasi Lingkaran

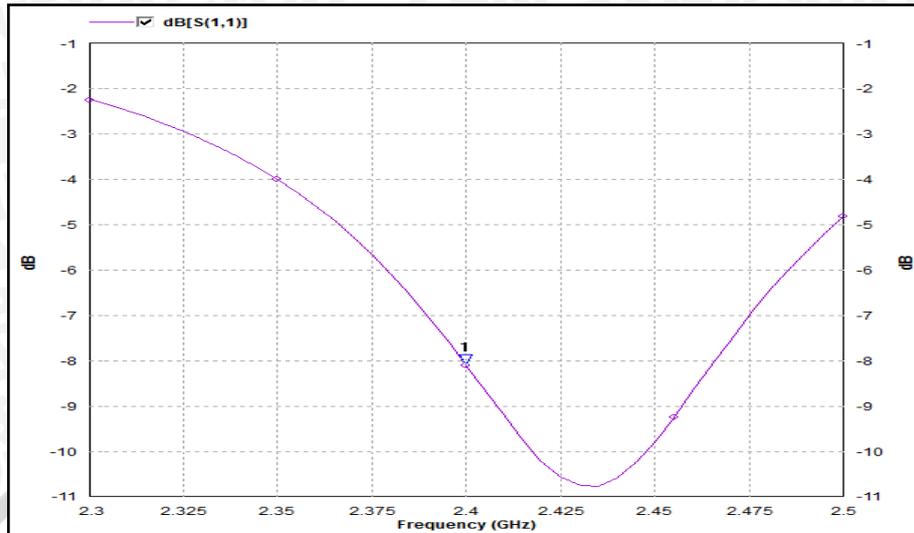
Simulasi antena mikrostrip satu elemen peradiasi lingkaran dapat dilakukan dengan menggunakan *software* berbasis MoM dan didapatkan hasil sebagai berikut :



Grafik 4.7 Grafik VSWR Terhadap Frekuensi Pada Antena Mikrostrip Satu Elemen Peradiasi Lingkaran

Sumber : Simulasi

Hasil simulasi pada Grafik 4.7 menunjukkan nilai VSWR terhadap frekuensi pada antena mikrostrip dengan satu elemen peradiasi lingkaran. Data hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai VSWR pada frekuensi 2,4 GHz adalah 2,3 (*marker 1 Grafik 4.7*) dan besarnya *bandwidth* adalah 0,039 GHz (*selisih frekuensi antara marker 2 dengan marker 3 Grafik 4.7*).. Sebuah antena dapat dikatakan bekerja dengan baik jika mempunyai nilai $1 < \text{VSWR} < 2$.

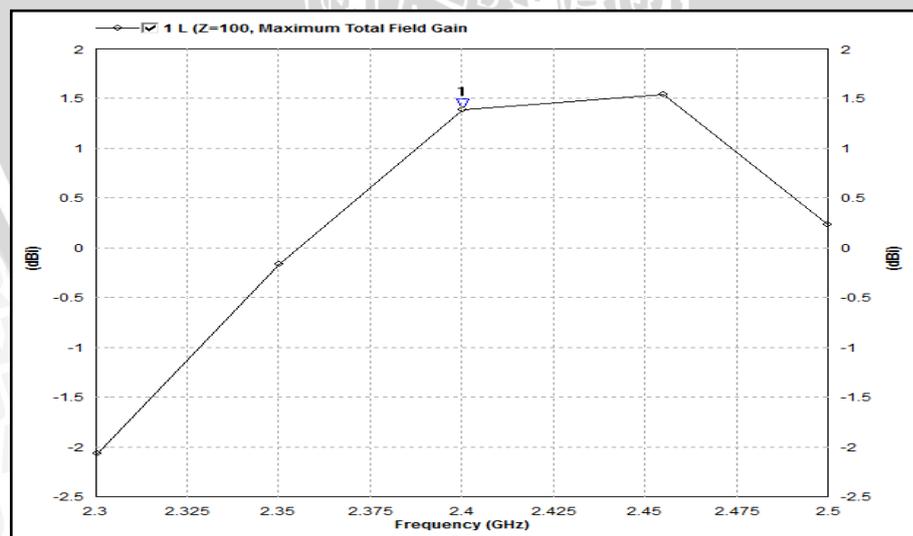


Grafik 4.8 Grafik RL Terhadap Frekuensi Pada Antena Mikrostrip

Satu Elemen Peradiasi Lingkaran

Sumber : Simulasi

Hasil simulasi pada Grafik 4.8 menunjukkan nilai RL terhadap frekuensi pada antena mikrostrip dengan satu elemen peradiasi lingkaran. Data hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai RL pada frekuensi 2,4 GHz adalah $-8,1$ (*marker 1 Grafik 4.8*). Sebuah antena dapat dikatakan bekerja dengan baik jika mempunyai nilai $RL < -10$ dB.



Grafik 4.9 Grafik Gain Terhadap Frekuensi Pada Antena Mikrostrip

Satu Elemen Peradiasi Lingkaran

Sumber : Simulasi

Hasil simulasi pada Grafik 4.9 menunjukkan nilai *gain* terhadap frekuensi pada antenna mikrostrip dengan satu elemen peradiasi lingkaran. Data hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai *gain* pada frekuensi 2,4 GHz adalah 1,39 (*marker 1 Grafik 4.9*). Sebuah antenna dapat dikatakan bekerja dengan baik jika mempunyai nilai $gain > 3$ dBi.

Berdasarkan data VSWR, RL dan *gain* dari hasil simulasi diatas, antenna mikrostrip dengan satu elemen peradiasi lingkaran yang dirancang belum dapat bekerja dengan baik pada frekuensi kerja yang diinginkan yaitu 2,4 GHz. Antenna dapat dikatakan bekerja dengan baik jika mempunyai nilai $1 < VSWR < 2$, $RL < -10$ dB dan $gain > 3$ dBi. Oleh karena itu, perlu ditambahkan satu elemen peradiasi, agar didapat kinerja antenna yang sesuai dengan yang diinginkan.

4.11 Perancangan Dimensi Saluran Transmisi Antena Mikrostrip Dua Elemen Peradiasi Lingkaran

Pada perancangan dimensi saluran transmisi antenna mikrostrip dua elemen peradiasi lingkaran, radius elemen peradiasi (a) adalah 17,26 mm untuk frekuensi 2,4 GHz sama seperti pada subbab 4.8. Nilai impedansi saluran transmisi yang direncanakan adalah 200Ω sehingga didapatkan impedansi total sebesar 100Ω .

Lebar saluran transmisi (W_0) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-55) :

$$W_0 = \frac{377}{Z_0} x \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Dengan nilai $h = 1,6$ mm dan $\epsilon_r = 4,5$ maka :

- Nilai $Z_0 = 200 \Omega$

$$W_0 = \frac{377}{200} x \frac{1,6}{\sqrt{4,5}}$$

$$W_0 = 1,42 \text{ mm}$$

- Nilai $Z_l = 100 \Omega$

$$W_1 = \frac{377}{100} x \frac{1,6}{\sqrt{4,5}}$$

$$W_1 = 2,84 \text{ mm}$$

Panjang saluran transmisi (L_0) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-56) :

$$L_0 = \frac{1}{4} \lambda_d$$

Dengan nilai $\lambda_d = 58,925$ mm maka :

$$\begin{aligned} L_0 &= \frac{1}{4} \cdot 58,925 \\ &= 14,72 \text{ mm} \end{aligned}$$

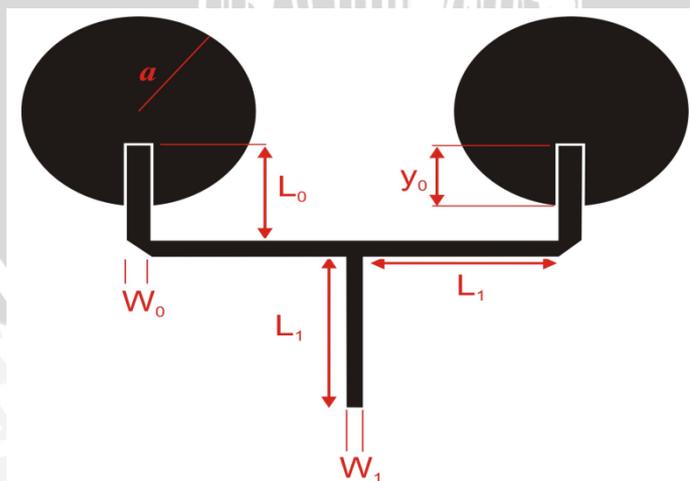
Jarak antar elemen peradiasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-59) :

$$\begin{aligned} r &\geq 0,6 \lambda_d \\ r &\geq 0,6 \times 0,0589 \\ r &\geq 0,0353 \text{ m} = 35,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas, antara pusat elemen peradiasi satu dengan pusat elemen peradiasi yang lain harus memiliki jarak minimum sebesar 35,3 mm, agar hal tersebut dapat diwujudkan, maka panjang saluran transmisi L_1 dapat ditentukan sebesar dua kali panjang L_0 . Dengan demikian syarat jarak antar elemen peradiasi pada persamaan (2-56) dapat terpenuhi.

$$L_1 = 2 \times 14,72 = 29,44 \text{ mm}$$

Dimensi antenna mikrostrip dengan dua elemen peradiasi lingkaran dapat ditunjukkan pada Gambar 4.4 :

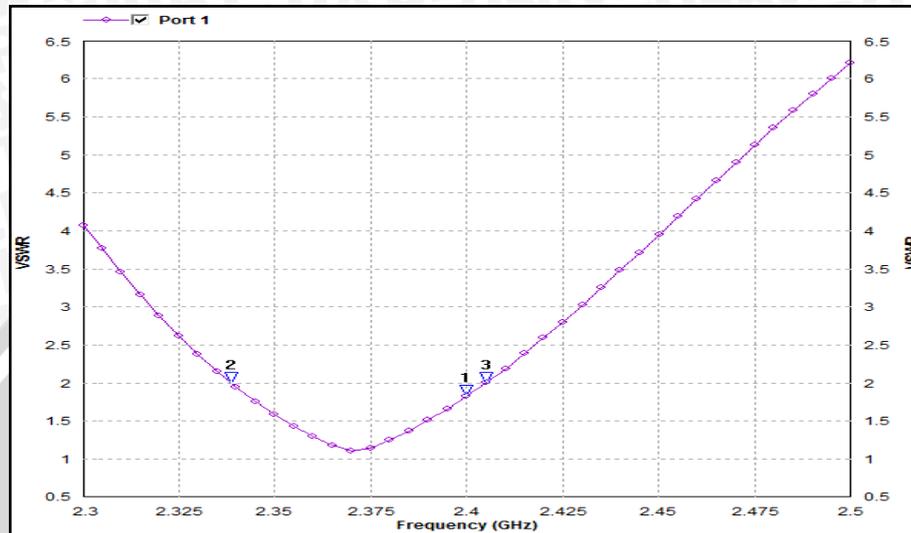


Gambar 4.4 Antena Mikrostrip dengan Dua Elemen Peradiasi Lingkaran

Sumber : Perancangan

4.12 Simulasi Antena Mikrostrip Dua Elemen Peradiasi Lingkaran

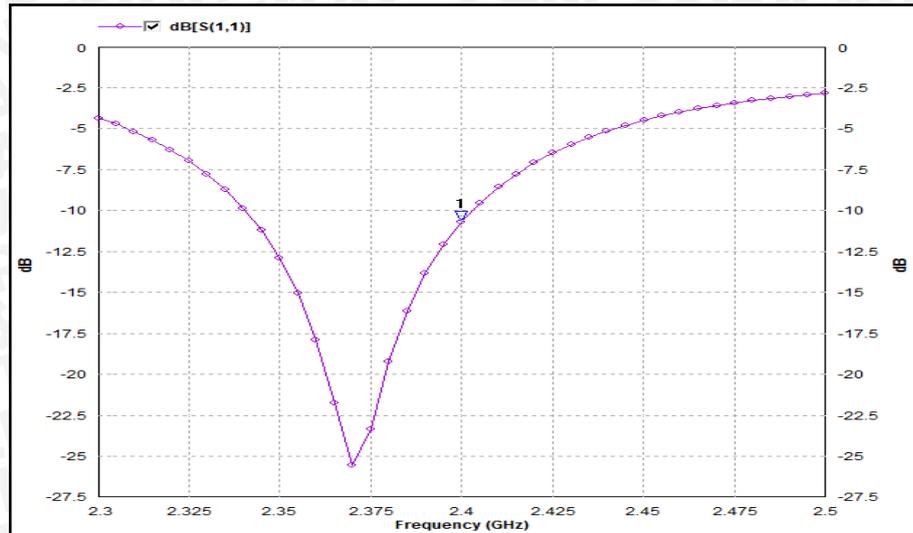
Simulasi antena mikrostrip dua elemen peradiasi lingkaran dapat dilakukan dengan menggunakan *software* berbasis MoM dan didapatkan hasil sebagai berikut :



Grafik 4.10 Grafik VSWR Terhadap Frekuensi Pada Antena Mikrostrip Dua Elemen Peradiasi Lingkaran

Sumber : Simulasi

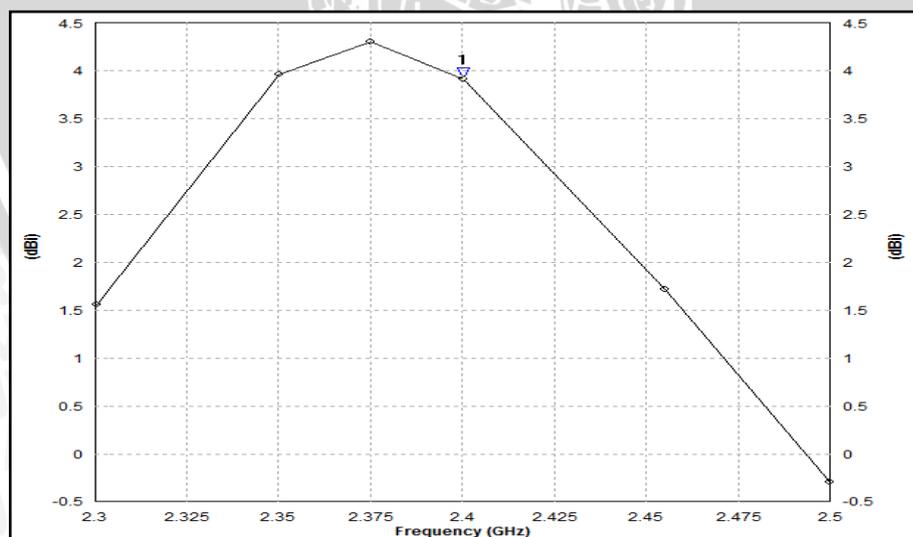
Hasil simulasi pada Grafik 4.10 menunjukkan nilai VSWR terhadap frekuensi pada antena mikrostrip dengan dua elemen peradiasi lingkaran. Data hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai VSWR pada frekuensi 2,4 GHz adalah 1,83 (*marker 1 Grafik 4.10*) dan besarnya *bandwidth* adalah 0,066 GHz (*selisih frekuensi antara marker 2 dengan marker 3 Grafik 4.10*). Sebuah antena dapat dikatakan bekerja dengan baik jika mempunyai nilai $1 < \text{VSWR} < 2$.



Grafik 4.11 Grafik RL Terhadap Frekuensi Pada Antena Mikrostrip Dua Elemen Peradiasi Lingkaran

Sumber : Simulasi

Hasil simulasi pada Grafik 4.11 menunjukkan nilai RL terhadap frekuensi pada antena mikrostrip dengan dua elemen peradiasi lingkaran. Data hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai RL pada frekuensi 2,4 GHz adalah $-10,68$ (*marker 1 Grafik 4.11*). Sebuah antena dapat dikatakan bekerja dengan baik jika mempunyai nilai $RL < -10$ dB.



Grafik 4.12 Grafik Gain Terhadap Frekuensi Pada Antena Mikrostrip Dua Elemen Peradiasi Lingkaran

Sumber : Simulasi

Hasil simulasi pada Grafik 4.12 menunjukkan nilai *gain* terhadap frekuensi pada antenna mikrostrip dengan dua elemen peradiasi lingkaran. Data hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai *gain* pada frekuensi 2,4 GHz adalah 3,9 (*marker 1 Grafik 4.12*). Sebuah antenna dapat dikatakan bekerja dengan baik jika mempunyai nilai *gain* > 3 dBi.

Berdasarkan data VSWR, RL dan *gain* dari hasil simulasi diatas, antenna mikrostrip dengan dua elemen peradiasi lingkaran yang dirancang sudah dapat bekerja dengan baik pada frekuensi kerja yang diinginkan yaitu 2,4 GHz. Dengan adanya penambahan satu elemen peradiasi pada antenna, dapat memperbaiki kinerja antenna.

4.13 Perancangan Antena Mikrostrip Kotak-Lingkaran Patch Array Empat Elemen

Antena *array* merupakan antenna yang disusun dengan cara menggabungkan beberapa elemen peradiasi dalam satu bidang, termasuk saluran transmisi sebagai saluran pencatu untuk tiap-tiap elemen.

Penggunaan saluran transmisi sebagai saluran pencatu memberikan kemudahan dalam perancangan antenna. Pada subbab ini akan dijelaskan perancangan dan simulasi antenna mikrostrip kotak-lingkaran *patch array* empat elemen.

Adapun alasan penggunaan elemen peradiasi kotak dan lingkaran dalam perancangan dan pembuatan antenna mikrostrip ini karena elemen peradiasi kotak dan lingkaran merupakan elemen peradiasi yang paling sederhana dan umum digunakan dalam perancangan dan pembuatan antenna mikrostrip. Selain itu, elemen peradiasi kotak dan lingkaran juga relatif sederhana dalam hal analisis geometri (Garg, 2003).

Antena mikrostrip yang dirancang dan dibuat pada skripsi ini disusun secara *array* sejumlah empat elemen peradiasi dengan tujuan untuk mendapatkan penguatan yang lebih besar bila dibandingkan dengan antenna mikrostrip yang disusun secara *array* sejumlah dua elemen peradiasi (Huang, 2003).

Pada perancangan antenna mikrostrip kotak-lingkaran *patch array* empat elemen, lebar (W) dan panjang (L) elemen peradiasi adalah 29,13 mm untuk

frekuensi 2,4 GHz sama seperti pada subbab 4.3, sedangkan radius elemen peradiasi (a) adalah 17,26 mm untuk frekuensi 2,4 GHz sama seperti pada subbab 4.8. Nilai impedansi saluran transmisi yang direncanakan adalah 200Ω sehingga didapatkan impedansi total sebesar 100Ω .

Lebar saluran transmisi (W_0) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-55) :

$$W_0 = \frac{377}{Z_0} x \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Dengan nilai $h = 1,6$ mm dan $\epsilon_r = 4,5$ maka :

- Nilai $Z_0 = 200 \Omega$

$$W_0 = \frac{377}{200} x \frac{1,6}{\sqrt{4,5}}$$

$$W_0 = 1,42 \text{ mm}$$

- Nilai $Z_I = 100 \Omega$

$$W_1 = \frac{377}{100} x \frac{1,6}{\sqrt{4,5}}$$

$$W_1 = 2,84 \text{ mm}$$

Panjang saluran transmisi (L_0) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-56) :

$$L_0 = \frac{1}{4} \lambda_d$$

Dengan nilai $\lambda_d = 58,925$ mm maka :

$$L_0 = \frac{1}{4} \cdot 58,925$$

$$= 14,72 \text{ mm}$$

Jarak antar elemen peradiasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-59) :

$$r \geq 0,6 \lambda_d$$

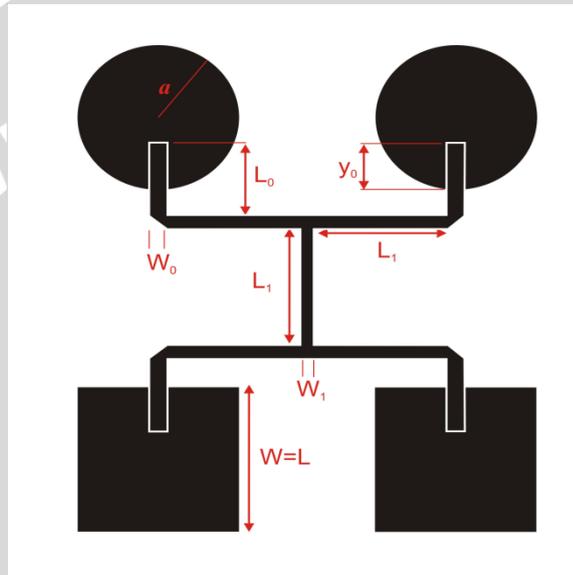
$$r \geq 0,6 x 0,0589$$

$$r \geq 0,0353 \text{ m} = 35,3 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan diatas, antara pusat elemen peradiasi satu dengan pusat elemen peradiasi yang lain harus memiliki jarak minimum sebesar 35,3 mm, agar hal tersebut dapat diwujudkan, maka panjang saluran transmisi L_1 dapat ditentukan sebesar dua kali panjang L_0 . Dengan demikian syarat jarak antar elemen peradiasi pada persamaan (2-56) dapat terpenuhi.

$$L_1 = 2 \times 14,72 = 29,44 \text{ mm}$$

Dimensi antenna mikrostrip kotak-lingkar *patch array* empat elemen dapat ditunjukkan pada Gambar 4.5 :

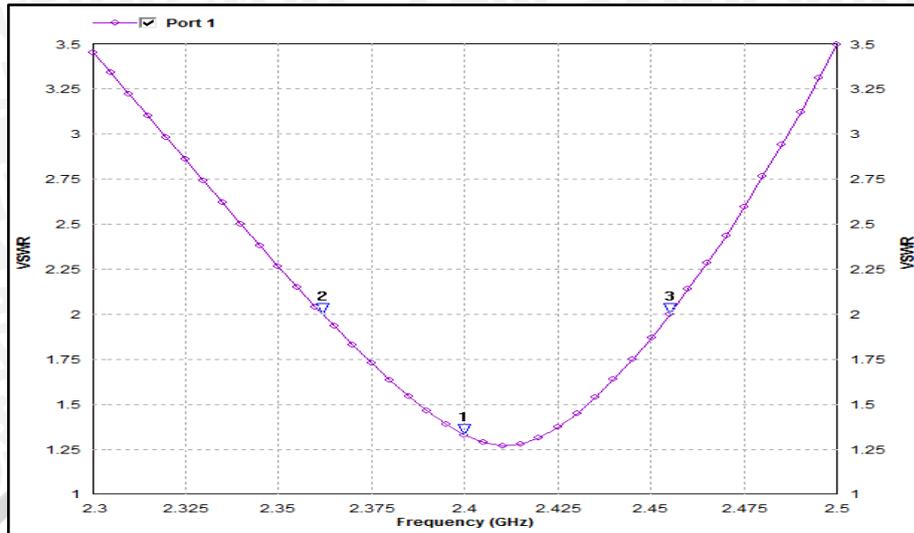


Gambar 4.5 Antena Mikrostrip Kotak-Lingkar *Patch Array* Empat Elemen

Sumber : Perancangan

4.14 Simulasi Antena Mikrostrip Kotak-Lingkar *Patch Array* Empat Elemen

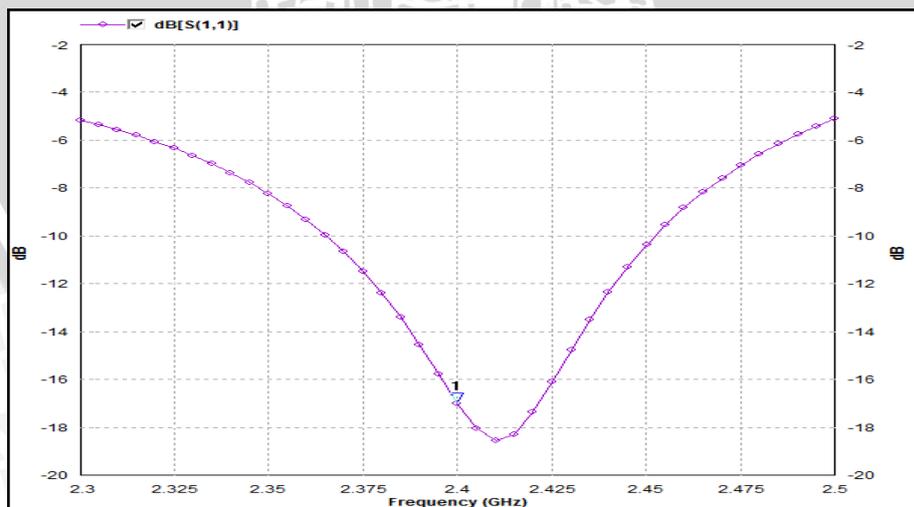
Simulasi antenna mikrostrip kotak-lingkar *patch array* empat elemen, dapat dilakukan dengan menggunakan *software* berbasis MoM dan didapatkan hasil sebagai berikut :



Grafik 4.13 Grafik VSWR Terhadap Frekuensi Pada Antena Mikrostrip Kotak-Lingkar *Patch Array* Empat Elemen

Sumber : Simulasi

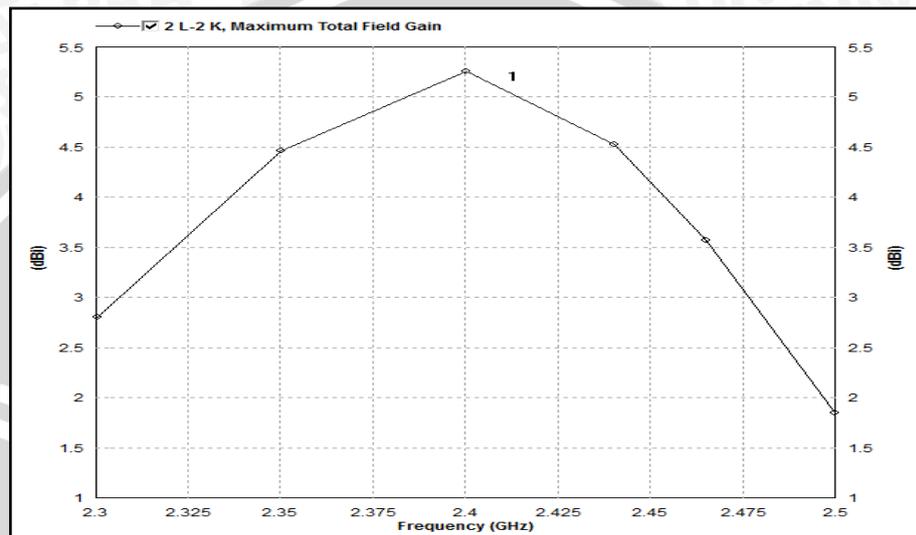
Hasil simulasi pada Grafik 4.13 menunjukkan nilai VSWR terhadap frekuensi pada antena mikrostrip kotak-lingkar *patch array* empat elemen. Data hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai VSWR pada frekuensi 2,4 GHz adalah 1,33 (*marker 1 Grafik 4.13*) dan besarnya *bandwidth* adalah 0,093 GHz (*selisih frekuensi antara marker 2 dengan marker 3 Grafik 4.13*). Sebuah antena dapat dikatakan bekerja dengan baik jika mempunyai nilai $1 < \text{VSWR} < 2$.



Grafik 4.14 Grafik RL Terhadap Frekuensi Pada Antena Mikrostrip Kotak-Lingkar *Patch Array* Empat Elemen

Sumber : Simulasi

Hasil simulasi pada Grafik 4.14 menunjukkan nilai RL terhadap frekuensi pada antenna mikrostrip kotak-lingkar *patch array* empat elemen. Data hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai RL pada frekuensi 2,4 GHz adalah -16,99 (*marker 1 Grafik 4.14*). Sebuah antenna dapat dikatakan bekerja dengan baik jika mempunyai nilai $RL < -10$ dB.



Grafik 4.15 Grafik *Gain* Terhadap Frekuensi Pada Antena Mikrostrip Kotak-Lingkar *Patch Array* Empat Elemen

Sumber : Simulasi

Hasil simulasi pada Grafik 4.15 menunjukkan nilai *gain* terhadap frekuensi pada antenna mikrostrip kotak-lingkar *patch array* empat elemen. Data hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai *gain* pada frekuensi 2,4 GHz adalah 5,26 (*marker 1 Grafik 4.15*). Sebuah antenna dapat dikatakan bekerja dengan baik jika mempunyai nilai $gain > 3$ dBi

Berdasarkan data VSWR, RL dan *gain* dari hasil simulasi diatas, antenna mikrostrip kotak-lingkar *patch array* empat elemen yang dirancang sudah dapat bekerja dengan baik pada frekuensi kerja yang diinginkan yaitu 2,4 GHz namun masih bisa dioptimalkan lagi agar dapat menghasilkan kinerja antenna yang lebih baik.

4.15 Optimasi

Setelah dilakukan perhitungan secara manual pada dimensi elemen peradiasi dan saluran transmisi antenna mikrostrip kotak-lingkar *patch array* empat elemen, kemudian dilakukan optimasi agar antenna dapat bekerja lebih optimal sesuai dengan yang diinginkan. Optimasi dilakukan secara manual dalam tiga tahap yaitu dengan mengubah radius elemen peradiasi lingkaran (a), lebar (W) dan panjang (L) elemen peradiasi kotak, serta panjang saluran transmisi L_0 . Langkah-langkah dan hasil optimasi antenna mikrostrip kotak-lingkar *patch array* empat elemen dapat dilihat pada table di bawah ini.

Langkah 1 : Mengubah radius elemen peradiasi lingkaran (a) dengan y_0 lingkaran = 10,36 mm, $L = W = 29,13$ mm, y_0 kotak = 11,64 mm dan $L_0 = 14,72$ mm.

Tabel 4.1 Nilai VSWR, RL, dan *Gain* dengan Optimasi Radius Elemen Peradiasi Lingkaran (a) *Patch Array* Empat Elemen

No.	Radius (a)	VSWR	RL	<i>Gain</i>
1	17,16	1,48	-14,20	5,12
2	17,36	1,23	-19,90	5,62
3	17,38	1,21	-20,58	5,69
4	17,40	1,20	-20.83	5,71

Sumber : Simulasi

Dari Tabel 4.1 diatas dilihat bahwa VSWR, RL, dan *Gain* bernilai optimal saat radius elemen peradiasi lingkaran (a) sebesar 17,40 mm.

Langkah 2 : Mengubah lebar (W) dan panjang (L) elemen peradiasi kotak dengan y_0 kotak = 11,64 mm, $a = 17,40$ mm, y_0 lingkaran = 10,36 mm, dan $L_0 = 14,72$ mm.

Tabel 4.2 Nilai VSWR, RL, dan *Gain* dengan Optimasi Lebar (W) dan Panjang (L) Elemen Peradiasi Kotak *Patch Array* Empat Elemen

No.	Lebar (W) dan Panjang (L)	VSWR	RL	<i>Gain</i>
1	29,27	1,28	-18,31	5,41
2	29,37	1,34	-16,79	5,17
3	29,40	1,35	-16,42	5,10
4	28,47	1,39	-15,67	4,96

Sumber : Simulasi

Dari Tabel 4.2 diatas dilihat bahwa VSWR, RL, dan *Gain* bernilai optimal saat lebar (W) dan panjang (L) elemen peradiasi kotak sebesar 29,27 mm.

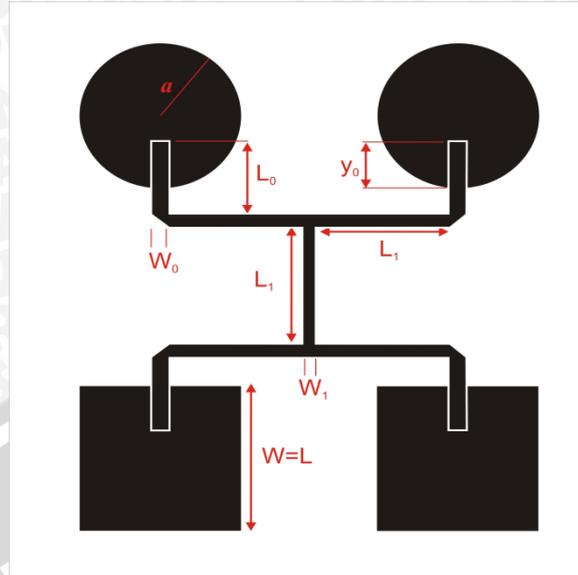
Langkah 3 : Mengubah panjang saluran transmisi L_0 dengan $L = W = 29,27$ mm, y_0 kotak = 11,64 mm, $a = 17,40$ mm, y_0 lingkaran = 10,36 mm.

Tabel 4.3 Nilai VSWR, RL, dan *Gain* dengan Optimasi Panjang Saluran Transmisi L_0 *Patch Array* Empat Elemen

No.	Panjang Saluran Transmisi (L_0)	VSWR	RL	<i>Gain</i>
1	14,82	1,22	-20,11	5,44
2	14,90	1,18	-21,46	5,46
3	14,92	1,23	-19,72	5,42
4	15	1,16	-22,36	5,47

Sumber : Simulasi

Dari Tabel 4.3 diatas dilihat bahwa VSWR, RL, dan *Gain* bernilai optimal saat panjang saluran transmisi L_0 sebesar 15 mm.



Gambar 4.6 Antena Mikrostrip Kotak-Lingkar *Patch Array* Empat Elemen Setelah Optimasi

Sumber : Perancangan

Keterangan Gambar 4.6 :

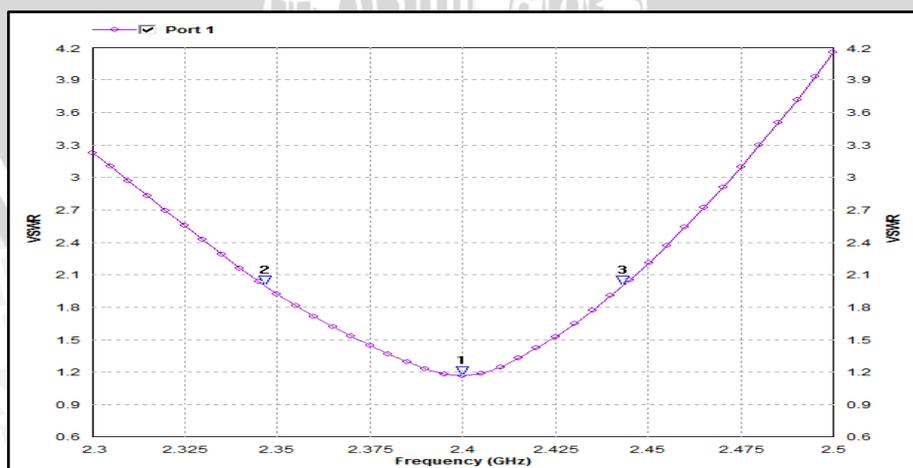
Elemen Peradiasi Kotak : $L = W = 29,27$ mm dan $y_0 = 11,64$ mm

Elemen Peradiasi Lingkaran : $a = 17,40$ mm dan $y_0 = 10,36$ mm

$Z_0 = 200 \Omega$: $W_0 = 1,42$ mm, $L_0 = 15$ mm, $L_1 = 30$ mm

$Z_1 = 100 \Omega$: $W_1 = 2,84$ mm, $L_0 = 15$ mm, $L_1 = 30$ mm

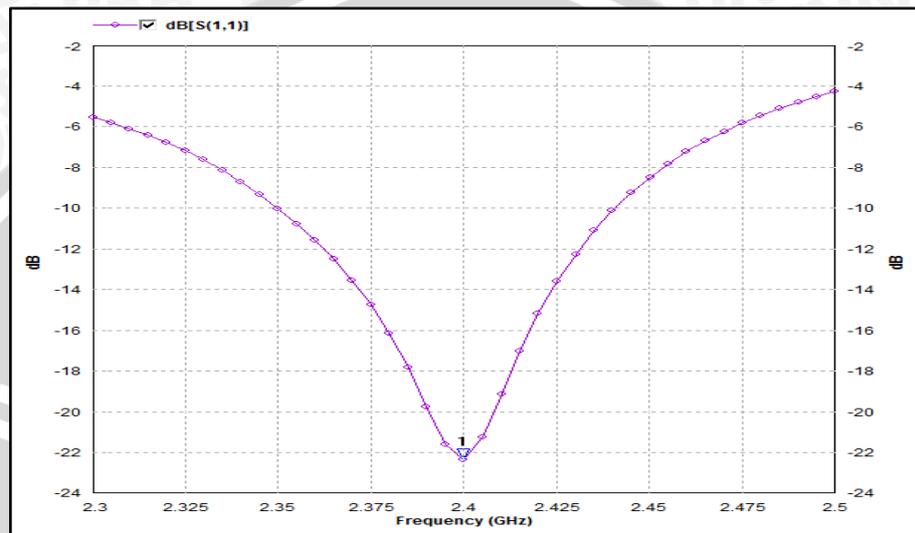
Hasil simulasi dari antena mikrostrip kotak-lingkar *patch array* empat elemen setelah optimasi adalah sebagai berikut :



Grafik 4.16 Grafik VSWR Terhadap Frekuensi Pada Antena Mikrostrip Kotak-Lingkar *Patch Array* Empat Elemen Setelah Optimasi

Sumber : Simulasi

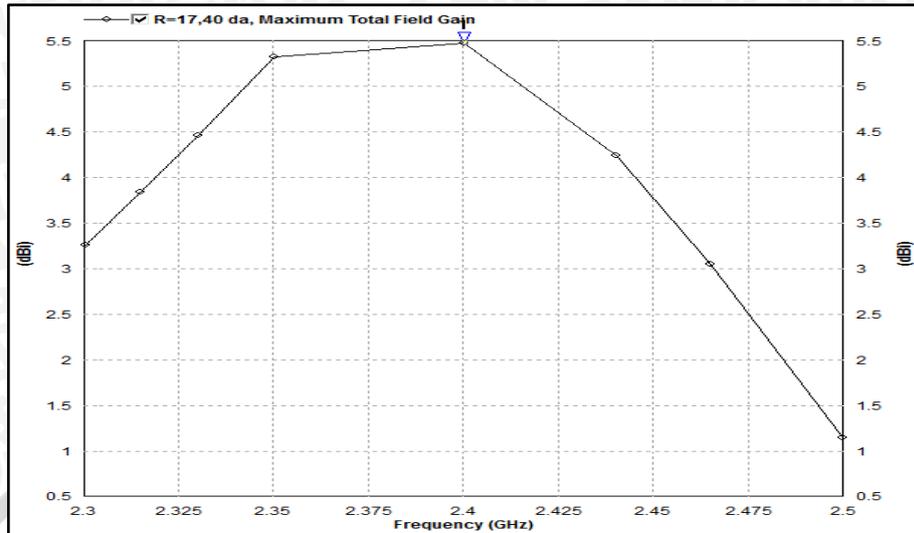
Hasil simulasi pada Grafik 4.16 menunjukkan nilai VSWR terhadap frekuensi pada antenna mikrostrip kotak-lingkar *patch array* empat elemen setelah optimasi. Data hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai VSWR pada frekuensi 2,4 GHz adalah 1,16 (*marker 1 Grafik 4.16*) dan besarnya *bandwidth* adalah 0,096 GHz (*selisih frekuensi antara marker 2 dengan marker 3 Grafik 4.16*).



Grafik 4.17 Grafik RL Terhadap Frekuensi Pada Antena Mikrostrip Kotak-Lingkar *Patch Array* Empat Elemen Setelah Optimasi

Sumber: Simulasi

Hasil simulasi pada Grafik 4.17 menunjukkan nilai RL terhadap frekuensi pada antenna mikrostrip kotak-lingkar *patch array* empat elemen setelah optimasi. Data hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai RL pada frekuensi 2,4 GHz adalah -22,36 (*marker 1 Grafik 4.17*).

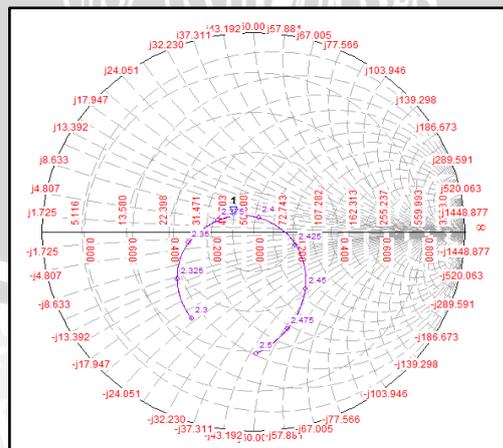


Grafik 4.18 Grafik *Gain* Terhadap Frekuensi Pada Antena Mikrostrip Kotak-Lingkaran *Patch Array* Empat Elemen Setelah Optimasi

Sumber : Simulasi

Hasil simulasi pada Grafik 4.18 menunjukkan nilai *gain* terhadap frekuensi pada antena mikrostrip kotak-lingkaran *patch array* empat elemen setelah optimasi. Data hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai *gain* pada frekuensi 2,4 GHz adalah 5,47 (*marker 1* Grafik 4.18).

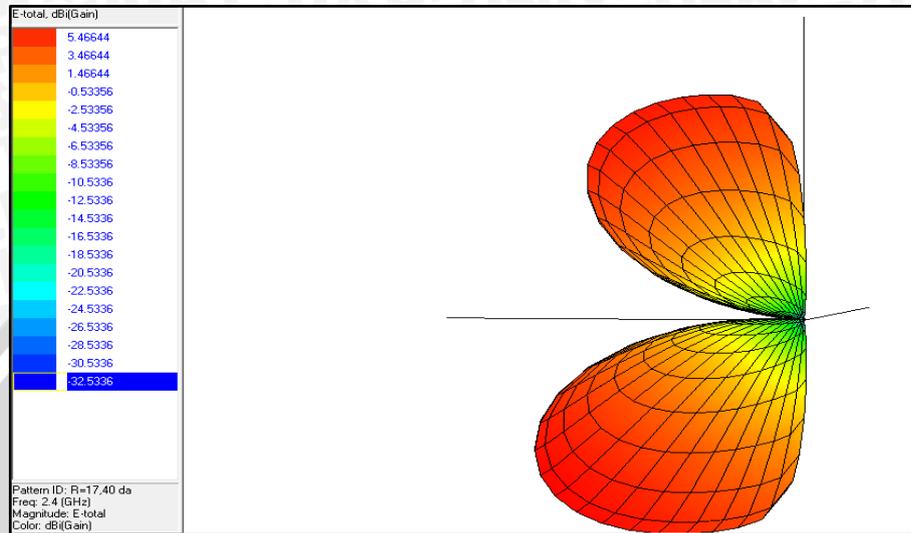
Selain itu, *software* berbasis MoM juga dapat menampilkan gambar *Smith Chart* yang merepresentasikan besar dari impedansi karakteristik antena yang dirancang. Data tersebut ditampilkan pada Gambar 4.7. Dari gambar, dapat dilihat bahwa pada frekuensi 2,4 GHz (*marker 1* Gambar 4.7) nilai impedansi mendekati 50 Ω. Hal ini sesuai dengan besar impedansi antena yang diinginkan.



Gambar 4.7 *Smith Chart*

Sumber : Simulasi

Untuk mengetahui pola daya dari antenna mikrostrip kotak-lingkaran *patch array* empat elemen setelah optimasi, dapat dilihat pada Gambar 4.8. Hasil simulasi berupa gambar tiga dimensi dengan warna merah hingga warna biru sebagai indikatornya.



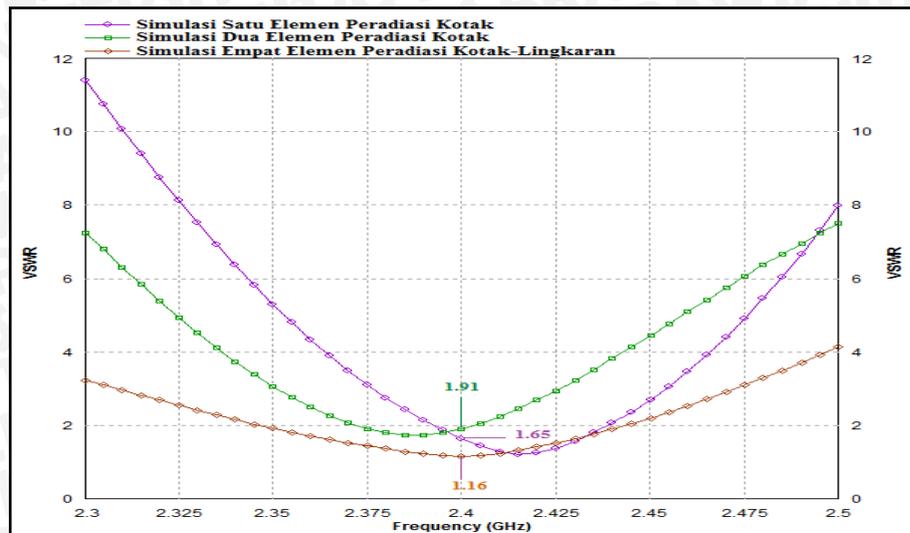
Gambar 4.8 *Gain Pattern 3D*

Sumber : Simulasi

Dari data hasil perancangan dan simulasi antenna dengan empat elemen yang teroptimasi ini dapat disimpulkan bahwa antenna sudah dapat difabrikasi.

4.16 Analisis Hasil Simulasi

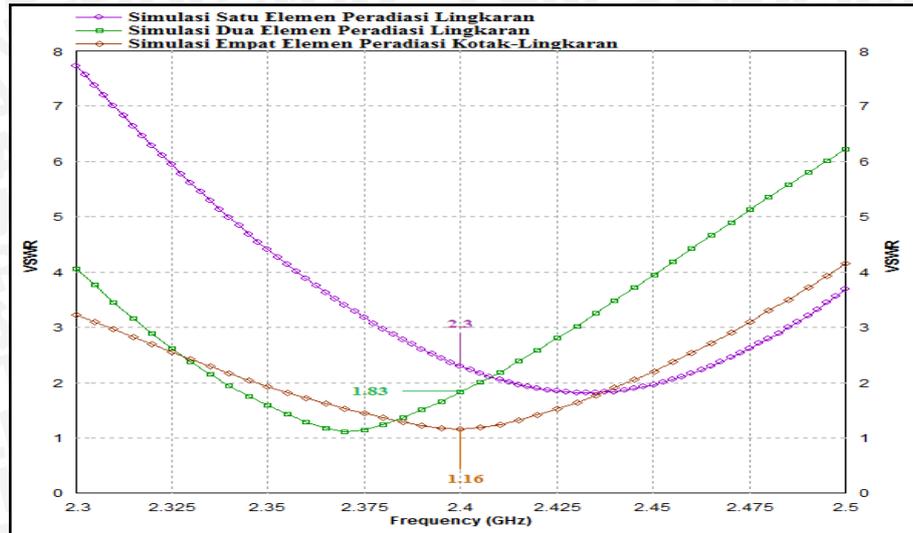
Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan pada parameter-parameter antenna yang meliputi VSWR, RL dan *gain*, dapat dikatakan bahwa antenna sudah dapat bekerja pada frekuensi yang diinginkan setelah melalui proses optimasi. Perbandingan antara performansi hasil simulasi antenna mikrostrip satu elemen peradiasi kotak dan antenna mikrostrip dua elemen peradiasi kotak dengan antenna mikrostrip kotak-lingkaran *patch array* empat elemen dapat dilihat pada grafik-grafik di bawah ini. Selain itu, dapat dilihat juga perbandingan antara performansi hasil simulasi antenna mikrostrip satu elemen peradiasi lingkaran dan antenna mikrostrip dua elemen peradiasi lingkaran dengan antenna mikrostrip kotak-lingkaran *patch array* empat elemen.



Grafik 4.19 Grafik Perbandingan Hasil Simulasi VSWR Satu Elemen Peradiasi Kotak, Dua Elemen Peradiasi Kotak dan Empat Elemen Peradiasi Kotak-Lingaran

Sumber : Simulasi

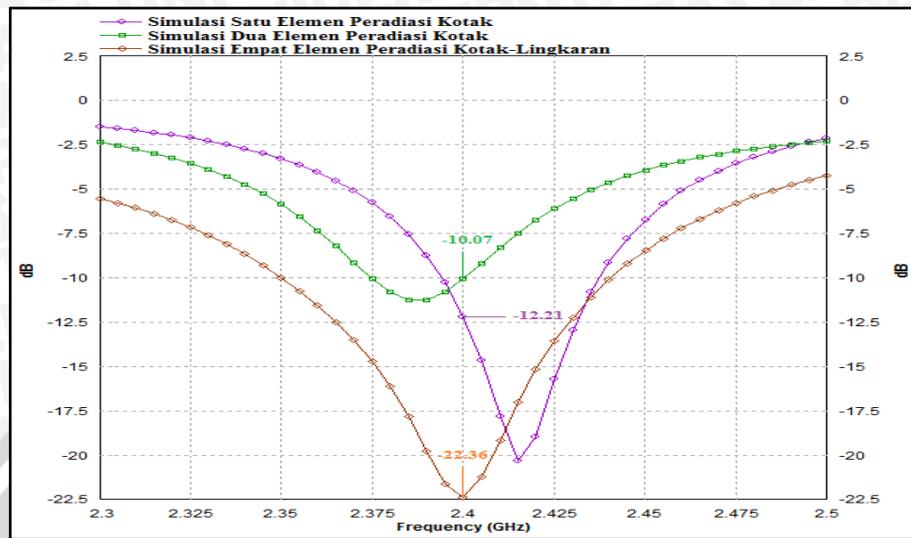
Berdasarkan Grafik 4.19 di atas dapat dilihat bahwa nilai VSWR antenna mikrostrip satu elemen peradiasi kotak, dua elemen peradiasi kotak dan empat elemen peradiasi kotak-lingaran berturut-turut adalah 1,65, 1,91 dan 1,16. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan jumlah elemen peradiasi dapat memperbaiki nilai VSWR antenna. Antena mikrostrip kotak-lingaran *patch array* empat elemen juga memiliki *bandwidth* yang lebih besar yaitu 0,096 GHz, dibandingkan dengan antenna mikrostrip dua elemen peradiasi kotak yang hanya memiliki *bandwidth* sebesar 0,030 GHz.



Grafik 4.20 Grafik Perbandingan Hasil Simulasi VSWR Satu Elemen Peradiasi Lingkaran, Dua Elemen Peradiasi Lingkaran dan Empat Elemen Peradiasi Kotak-Lingkaran
Sumber : Simulasi

Berdasarkan Grafik 4.20 di atas dapat dilihat bahwa nilai VSWR antenna mikrostrip satu elemen peradiasi lingkaran, dua elemen peradiasi lingkaran dan empat elemen peradiasi kotak-lingkaran berturut-turut adalah 2,3, 1,83 dan 1,16. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan jumlah elemen peradiasi dapat memperbaiki nilai VSWR antenna. Antena mikrostrip kotak-lingkaran *patch array* empat elemen juga memiliki *bandwidth* yang lebih besar yaitu 0,096 GHz, dibandingkan dengan antenna mikrostrip dua elemen peradiasi lingkaran yang hanya memiliki *bandwidth* sebesar 0,075 GHz.

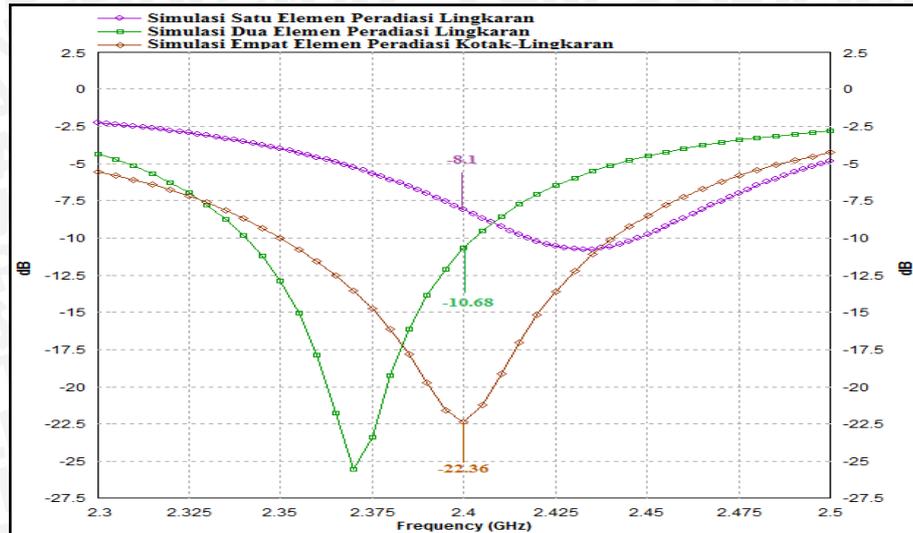
Parameter selanjutnya yang dapat dilihat dari hasil simulasi adalah RL pada grafik dibawah ini.



Grafik 4.21 Grafik Perbandingan Hasil Simulasi RL Satu Elemen Peradiasi Kotak, Dua Elemen Peradiasi Kotak dan Empat Elemen Peradiasi Kotak-Lingkaran

Sumber : Simulasi

Berdasarkan Grafik 4.21 di atas dapat dilihat bahwa nilai RL antenna mikrostrip satu elemen peradiasi kotak, dua elemen peradiasi kotak dan empat elemen peradiasi kotak-lingkaran berturut-turut adalah -12,21, -10,07 dan -22,36. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan jumlah elemen peradiasi dapat memperbaiki nilai RL antenna.

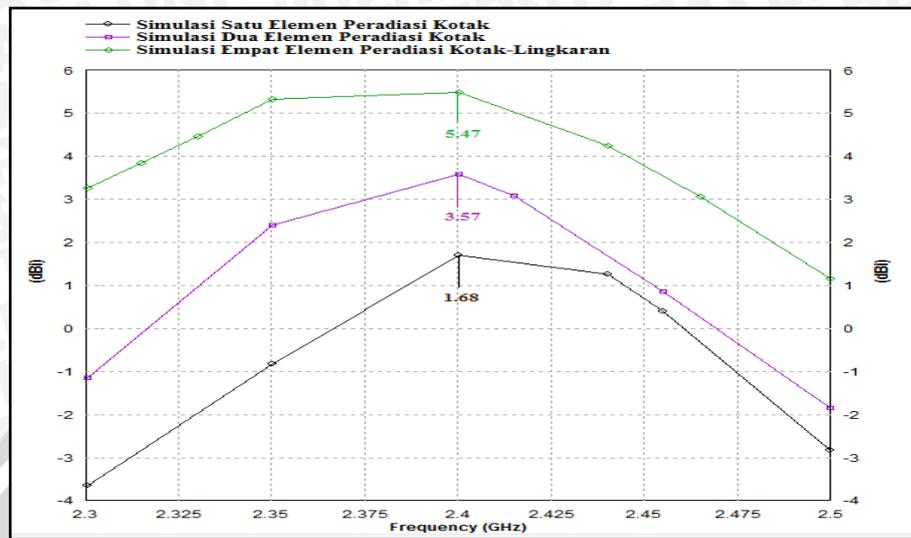


Grafik 4.22 Grafik Perbandingan Hasil Simulasi RL Satu Elemen Peradiasi Lingkaran, Dua Elemen Peradiasi Lingkaran dan Empat Elemen Peradiasi Kotak-Lingkaran

Sumber : Simulasi

Berdasarkan Grafik 4.14 di atas dapat dilihat bahwa nilai RL antenna mikrostrip satu elemen peradiasi lingkaran, dua elemen peradiasi lingkaran dan empat elemen peradiasi kotak-lingkaran berturut-turut adalah -8,1, -10,68 dan -22,36. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan jumlah elemen peradiasi dapat memperbaiki nilai RL antenna.

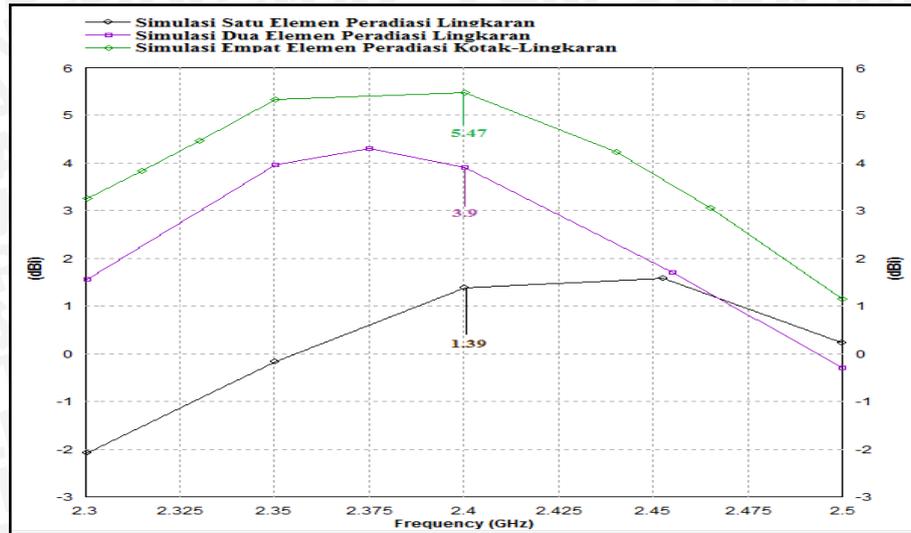
Parameter selanjutnya yang dapat dilihat dari hasil simulasi adalah *gain* pada grafik dibawah ini :



Grafik 4.23 Grafik Perbandingan Hasil Simulasi *Gain* Satu Elemen Peradiasi Kotak, Dua Elemen Peradiasi Kotak dan Empat Elemen Peradiasi Kotak-Lingaran

Sumber : Simulasi

Berdasarkan Grafik 4.23 di atas dapat dilihat bahwa nilai *gain* antenna mikrostrip satu elemen peradiasi kotak, dua elemen peradiasi kotak dan empat elemen peradiasi kotak-lingaran berturut-turut adalah 1,68, 3,57 dan 5,47. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan jumlah elemen peradiasi dapat memperbaiki nilai *gain* antenna.



Grafik 4.24 Grafik Perbandingan Hasil Simulasi *Gain* Satu Elemen Peradiasi Lingkaran, Dua Elemen Peradiasi Lingkaran dan Empat Elemen Peradiasi Kotak-Lingkaran

Sumber : Simulasi

Berdasarkan Grafik 4.24 di atas dapat dilihat bahwa nilai *gain* antenna mikrostrip satu elemen peradiasi lingkaran, dua elemen peradiasi lingkaran dan empat elemen peradiasi kotak-lingkaran berturut-turut adalah 1,39, 3,9 dan 5,47. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan jumlah elemen peradiasi dapat memperbaiki nilai *gain* antenna.

Dengan memperhatikan karakteristik antenna hasil simulasi berdasarkan parameter di atas, maka dapat disimpulkan bahwa antenna mikrostrip kotak-lingkaran *patch array* empat elemen hasil perancangan ini sudah memenuhi standar yang diinginkan dari sebuah antenna. Dengan demikian langkah selanjutnya adalah fabrikasi antenna yang desainnya sesuai dengan hasil simulasi.