

Simulasi Perancangan Antena Mikrostrip Lingkaran, Persegi Panjang dan Elips pada Frekuensi 2,3 GHz

Eva Yovita Dwi Utami¹, Ayu Diani Aquarista²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Satya Wacana
Jl. Diponegoro 52-60, Salatiga, Indonesia
eva.utami@uksw.edu¹

Abstrak— Antena merupakan suatu komponen yang memiliki peranan penting dalam system telekomunikasi. Salah satunya, yaitu antena mikrostrip, antena dengan perkembangan yang sangat pesat, sehingga banyak diaplikasikan pada peralatan telekomunikasi modern pada saat ini. Untuk mendukung kinerja dan daya guna antena maka ada beberapa aspek yang perlu diperhatikan seperti Voltage Wave Standing Ration (VSWR), gain (penguatan) ataupun dimensi antena (ukuran *patch*) itu sendiri. Makalah ini akan membahas perbandingan dari 3 bentuk *patch* yaitu *patch* lingkaran, persegi panjang dan elips. Aspek yang akan dibandingkan yaitu koefisien refleksi, VSWR, impedansi, *gain*, *bandwidth* serta pola radiasi. Antena mikrostrip *patch* lingkaran, persegi panjang, dan elips ini dirancang dengan *patch* dan *ground* berbahan tembaga dengan ketebalan 0,035 mm, memiliki substrat berbahan FR-4 Epoxy dengan ketebalan 1,6 mm dan permitivitas relatif bernilai 4,6. Setelah dirancang dan disimulasikan, didapatkan antena *patch* lingkaran memiliki nilai VSWR terkecil yaitu 1,0475, dan memiliki nilai koefisien refleksi terkecil yaitu -32,662 dB sedangkan *patch* persegi panjang memiliki nilai *gain* terbesar yaitu 2,958 dB dan *bandwidth* terbesar dimiliki oleh *patch* lingkaran yaitu sebesar 76 MHz.

Kata kunci— antena, mikrostrip, *patch*, LTE

Abstract— *Antenna is a component that has an important role in the telecommunications system. One of them, namely microstrip antennas, antennas with very rapid development, so that many applied to modern telecommunications equipment at this time. To support performance and usability, there are several aspects that need to be considered such as Voltage Wave Standing Ration (VSWR), gain (gain) or the dimensions of the antenna (patch size) itself. This paper will discuss the comparison of 3 patch shapes, namely circle, rectangular and ellipse patches. The aspects we will compare are reflection coefficient, VSWR, impedance, gain, bandwidth and radiation patterns. This circular, rectangular and ellipse patch microstrip antenna is designed with a copper base with a thickness of 0.035 mm, has a substrate made from FR-4 Epoxy with a thickness of 1.6 mm and has a relative permittivity of 4.6. After being designed and simulated, it is found that the circular patch antenna has the smallest VSWR value of 1.0475, and has the smallest reflection coefficient value of -32,662 dB while the rectangular patch has the largest gain value of 2,958 dB and the largest bandwidth is owned by the circle patch which is actually 76 MHz.*

Keywords—*antenna, microstrip, patch, LTE*

I. PENDAHULUAN

Antena merupakan suatu piranti yang digunakan untuk mengirimkan dan menerima gelombang radio atau gelombang elektromagnetik yang diradiasikan dalam medium bebas untuk dipancarkan. Antena mikrostrip termasuk salah satu antena yang paling populer saat ini. Antena mikrostrip didefinisikan sebagai salah satu jenis antena yang mempunyai bentuk seperti bilah atau potongan yang mempunyai ukuran sangat tipis atau kecil. Antena mikrostrip terdiri atas tiga bagian, yaitu *patch*, substrat, dan *ground plane*. *Patch* terletak di atas substrat, sementara *ground plane* terletak pada bagian paling bawah. Antena mikrostrip sangat cocok digunakan untuk perangkat telekomunikasi modern yang ukurannya semakin kecil. Selain itu menurut (Stutzman & Thiele, 2012) antena mikrostrip memiliki keunggulan mudah dibuat, mudah untuk diinstalasi, serta biaya fabrikasinya rendah. Melalui beberapa dekade penelitian, diketahui bahwa kemampuan beroperasi antena

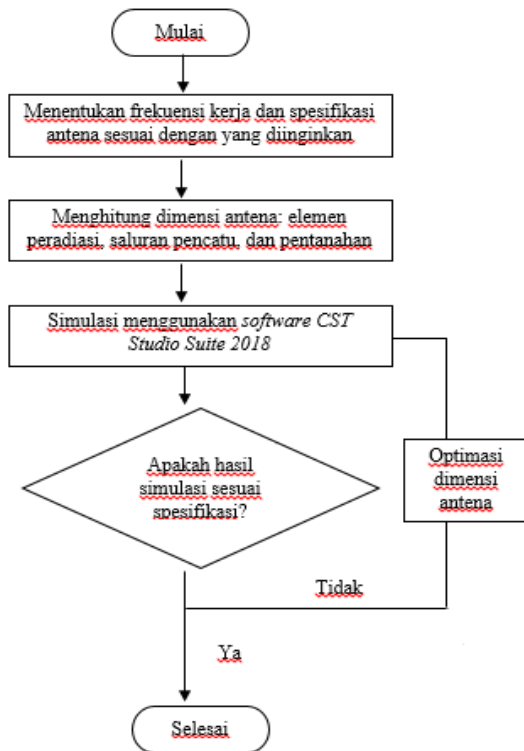
mikrostrip diatur oleh bentuknya (Garg et al., 2001). Bentuk-bentuk *patch* dari antena antara lain lingkaran, persegi panjang, elips dan segitiga. Bentuk tersebut bisa mempengaruhi berbagai macam aspek parameter dari antena seperti koefisien refleksi, VSWR, impedansi, *gain*, *bandwidth*.

Sebelumnya sudah dilakukan penelitian oleh (Octaviany et al., 2016) yaitu metode perbandingan antena mikrostrip *patch* lingkaran dan persegi pada frekuensi *Synthetic Aperture Radar* yaitu 1,27 GHz untuk *patch* lingkaran mendapatkan *bandwidth* sebesar 59 MHz, *gain* sebesar 3,49943 dB dan koefisien refleksi sebesar -39,394 dB. Lalu untuk *patch* persegi didapatkan *bandwidth* sebesar 49,6 MHz, *gain* sebesar 4,142703 dB dan koefisien refleksi sebesar -22,0692 dB. Sementara (Ramamurthy et al., 2015) telah merancang antena mikrostrip *patch* elips dengan konfigurasi EMA pada frekuensi 5,8 GHz didapatkan *gain* sebesar 0,866 dB, dan koefisien refleksi sebesar -26 dB.

Pada makalah ini akan disimulasikan rancangan antenna mikrostrip dengan tiga macam bentuk *patch* yaitu lingkaran, persegi panjang, dan elips dengan frekuensi dan teknik pencatutan yang sama untuk dibandingkan kinerjanya seperti koefisien refleksi, VSWR, *gain*, dan *bandwidth*. Lalu dapat dianalisis dan dibandingkan kinerja yang dicapai oleh masing-masing *patch*. Frekuensi yang digunakan dalam simulasi adalah frekuensi kerja LTE di Indonesia yaitu 2,3 GHz (Usman et al., 2012).

II. METODE

Dalam merancang dan menyimulasikan antenna mikrostrip terdapat beberapa tahapan yang ditunjukkan pada Gambar 1 dengan spesifikasi desain antenna ditunjukkan pada Tabel I. Tahapan tersebut meliputi penentuan spesifikasi dan bahan antenna, penghitungan dimensi antenna menggunakan persamaan-persamaan matematis, tahap simulasi dan optimasi.



Gambar 1. Gaftar alir penelitian

A. Spesifikasi dan Bahan

Pada antenna mikrostrip, *patch* merupakan elemen peradiasi yang terbuat dari bahan logam, dan tembaga merupakan bahan yang paling sering digunakan. Sementara itu substrat merupakan bahan dielektrikum yang dalam perancangan ini digunakan bahan FR4 epoxy dengan ketebalan 1,6 mm dan memiliki permitivitas relatif 4,6. Sebuah antenna harus memenuhi suatu parameter kinerja yang menunjukkan bahwa antenna bekerja dengan baik pada frekuensi kerja yang dipilih. Oleh karena itu ditetapkan spesifikasi perancangan untuk memenuhinya. Spesifikasi antenna yang dirancang ditunjukkan pada Tabel I. Nilai koefisien refleksi dan VSWR mengacu pada

rancangan antenna yang baik dalam referensi (Stutzman & Thiele, 2012).

TABEL I. UKURAN FONT UNTUK ARTIKEL

Parameter	Spesifikasi
Frekuensi Kerja	2,3 GHz
VSWR	< 2
Koefisien Refleksi	< -9,54 dB
<i>Gain</i>	> 2 dB
<i>Bandwidth</i>	> 50 MHz
Impedansi	50 Ohm

B. Penentuan Dimensi Antena

Untuk menentukan ukuran antenna, dilakukan perhitungan dengan persamaan-persamaan matematis untuk masing-masing bentuk. Ukuran yang ditentukan adalah ukuran *patch*, *ground plane* dan saluran pencatu. Nilai nilai yang telah diketahui dari spesifikasi adalah frekuensi kerja, nilai permitivitas relatif bahan dielektrik/substrat, dan ketebalan material dielektrik. Berikut ini akan dijelaskan formula-formula matematis untuk menghitung dimensi antenna berdasarkan bentuk *patch*

1) Antena Mikrostrip Lingkaran

Ukuran *patch* lingkaran akan tergantung pada jari-jarinya, yang dirumuskan dalam Persamaan (1) berikut.

$$\alpha = \frac{F}{\sqrt{1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} [\ln(\frac{\pi F}{2h}) + 1,7726]}} \quad (1)$$

dengan α adalah jari-jari lingkaran (mm), h adalah ketebalan substrat (mm), dan F adalah fungsi elemen peradiasi, yang ditentukan dengan Persamaan (2) (Balanis, 2005)

$$F = \frac{8,791 \times 10^9}{f \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

dengan f adalah frekuensi kerja antenna dalam satuan Hz dan ϵ_r adalah permitivitas relatif substrat.

Untuk menentukan lebar minimal *ground plane* W_g dan panjang minimal *ground plane* L_g (mm) dihitung dengan (Nakar, 2004) :

$$W_g = 6h + \frac{\pi}{2} a \quad (3)$$

$$L_g = 6h + 2a \quad (4)$$

Saluran transmisi yang digunakan pada antenna yaitu *inset feed* yang panjangnya dapat dicari menggunakan (Kurniawan et al., 2010) :

$$y_i = 0,3 d \quad (5)$$

$$L_f = \frac{0,25 c}{f \sqrt{\epsilon_r}} \quad (6)$$

Untuk lebar saluran pencatu W_f (mm) dapat dicari menggunakan persamaan

$$W_f = \frac{7,48 h}{e^{\left(\frac{20\sqrt{\epsilon_r+1,41}}{87}\right)}} + 1,25 t \quad (7)$$

2) Antena Mikrostrip Persegi Pnjang

Lebar *patch* (W_p) berdasarkan (Balanis, 2005) ditentukan dengan

$$W_p = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r+1}{2}}} \quad (8)$$

Dengan c adalah kecepatan cahaya di ruang bebas yaitu sebesar 3×10^8 m/s, f_0 adalah frekuensi kerja antena, dan ϵ_r adalah permitivitas relatif bahan substrat. Untuk menentukan panjang *patch* L_p diperlukan parameter ΔL yang merupakan pertambahan panjang akibat adanya *fringing effect*. Pertambahan panjang ΔL tersebut dirumuskan dengan (Garg et al., 2001):

$$\Delta L = 0,412 \cdot h \left(\frac{\epsilon_{eff}+0,3 \left(\frac{W}{h}+0,264 \right)}{\epsilon_{eff}-0,3 \left(\frac{W}{h}+0,8 \right)} \right) \quad (9)$$

Dengan h adalah tebal substrat, dan ϵ_{eff} adalah permitivitas relatif efektif yang dirumuskan sebagai (Garg et al., 2001)

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon+1}{2} + \frac{\epsilon-1}{2} \left(1 + 12 \left(\frac{h}{W} \right) \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (10)$$

Dan panjang *patch* efektif yang dapat dirumuskan dengan

$$L_{eff} = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (11)$$

Maka panjang *patch* L_p diberikan oleh

$$L_p = L_{eff} - 2\Delta L \quad (12)$$

Untuk menentukan panjang dan lebar dimensi minimal *ground plane* (mm) dapat menggunakan perhitungan (Akila et al., 2018)

$$W_g = (6 x h) + W_p \quad (13)$$

$$L_g = (6 x h) + L_p \quad (14)$$

Apabila impedansi karakteristik yang diinginkan maupun permitivitas relatif telah diketahui, perhitungan lebar dimensi saluran mikrostripnya adalah sebagai berikut (Pozar, 2012)

$$\frac{w_f}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A}-2} \text{ untuk } \frac{w_p}{h} \leq 2 \quad (15a)$$

$$\frac{w_f}{h} = \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r-1}{\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right\} \right], \text{ untuk } \frac{w_p}{h} > 2 \quad (15b)$$

Nilai A dan B dapat dihitung sebagai berikut (Pozar, 2012)

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r+1}{2}} + \frac{\epsilon_r-1}{\epsilon_r+1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) \quad (16)$$

$$B = \frac{60 \pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (17)$$

Sedangkan untuk menentukan panjang saluran mikrostrip adalah sebagai berikut (Pozar, 2012):

$$L_f = \frac{\lambda_g}{4} \quad (18)$$

Dengan

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad (19)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon}} \quad (20)$$

Untuk mendapatkan nilai impedansi masukan yang kita inginkan, digunakan *inset feed* pada saluran pencatuan. Perhitungan untuk menentukan panjang *inset feed* dihitung sebagai berikut (Ramesh & K.B., 2003)

$$y_i = 10^{-4} (0,001699\epsilon_r^7 + 0,1376\epsilon_r^6 - 6,1783\epsilon_r^5 + 93,187\epsilon_r^4 - 682,69\epsilon_r^3 + 2561,9\epsilon_r^2 - 4043\epsilon_r + 6697) \frac{L}{2} \quad (21)$$

Perhitungan dimensi dilakukan dalam satuan milimeter (mm)

3) Antena Patch Elips

Jika a adalah panjang sumbu mayor dan b adalah panjang sumbu minor, maka L (panjang *patch*) dan r (jari-jari *patch*) bisa dicari dengan persamaan berikut (Kumar et al., 2003):

$$L = 2b \quad (22)$$

$$r = \frac{a}{4} \quad (23)$$

Selanjutnya perhitungan panjang *patch* pada antena mikrostrip biasa dihitung dengan (Stutzman & Thiele, 2012) :

$$L_p = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_r}} \quad (24)$$

Nilai panjang gelombang dapat dihubungkan dengan:

$$\lambda = \frac{L_p+r}{0,24} \quad (25)$$

Dengan nilai panjang gelombang yang didapatkan dari Persamaan (25), frekuensi bawah f_L dapat dicari dengan persamaan berikut (Kumar et al., 2003):

$$f_L = \frac{7,2}{L_p+r} \quad (26)$$

Jika panjang *microstrip line* (p) ditambah, maka frekuensi akan bergeser turun karena *microstrip line* juga menambah luas elemen peradiasi sehingga panjang *microstrip line* yang digunakan harus diperhitungkan pada perhitungan frekuensi bawah.

$$f_L = \frac{c}{\lambda} = \frac{30 \times 0,24}{L_p+r} = \frac{7,2}{L_p+r+p} \quad (27)$$

Panjang saluran pencatu L_f dapat dihitung, sedangkan rasio antara radius minor (b) dan radius mayor (a) akan ditetapkan sebesar 0,6 (Ramamurthy et al., 2015). Perhitungan dimensi dari Persamaan (22) sampai Persamaan (27) dilakukan dalam satuan sentimeter (cm).

Berikut ini adalah persamaan untuk mendapatkan nilai radius a dan b pada konfigurasi *patch* elips EMA (Kumar et al., 2003).

$$f_{LA} = \frac{7,2}{2b + \frac{a}{4} + p} \quad (28)$$

Cara menentukan panjang dan lebar saluran pencatu untuk *patch* elips sama dengan prosedur pada saluran pencatu *patch* persegi panjang.

Sedangkan rumus untuk menghitung panjang *inset feed* menggunakan rumus :

$$y_i = \frac{6h}{2} \quad (29)$$

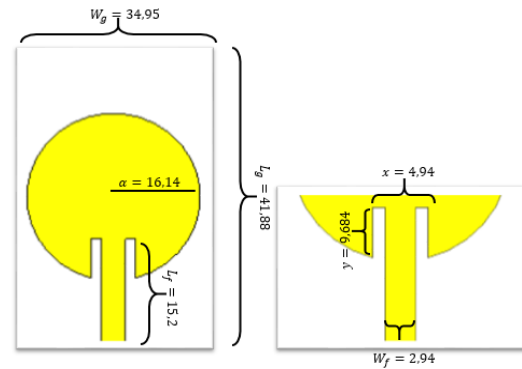
Dengan menggunakan formula-formula tersebut, dan memasukkan nilai-nilai yang telah diketahui maka diperoleh dimensi antenna hasil perhitungan matematis dalam Tabel II.

TABEL II. DIMENSI ANTENA HASIL PERHITUNGAN

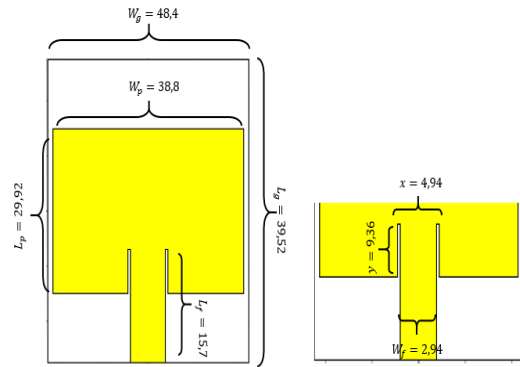
Notasi	Nilai (dalam mm)			Keterangan
	Lingkaran	Persegi Panjang	Elips	
α	16,14	-	-	Jari-jari
a	-	-	21,57	Sumbu mayor
b	-	-	12,94	Sumbu minor
W_p	-	38,8	-	Lebar <i>patch</i>
L_p	-	29,92	-	Panjang <i>patch</i>
W_g	34,95	48,4	56,12	Lebar <i>ground plane</i>
L_g	41,88	39,52	43,14	Panjang <i>ground plane</i>
W_f	2,94	2,94	2,94	Lebar saluran pencatu
L_f	15,2	15,2	15,7	Panjang saluran pencatu
y	9,684	9,36	4,8	Panjang <i>empty space</i>
x	4,94	4,94	4,94	Lebar <i>empty space</i>

III. SIMULASI

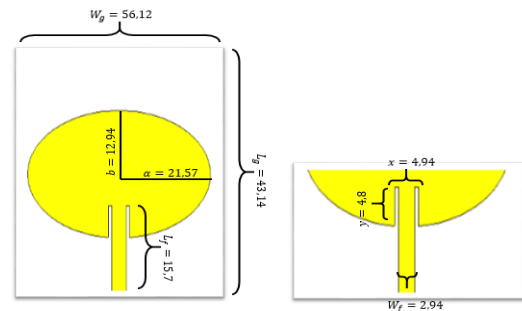
Bentuk rancangan antenna dengan ukuran sesuai Tabel II disimulasikan di dalam software simulasi. Dari hasil simulasi diperoleh grafik kinerja rancangan antenna yaitu grafik VSWR, koefisien refleksi, gain, impedansi dan pola radiasi. Simulasi awal tersebut belum menghasilkan kinerja antenna sesuai dengan spesifikasi maka dilakukan optimasi, yaitu mengubah-ubah ukuran-ukuran tertentu dari rancangan antenna sampai diperoleh kinerja yang paling mendekati spesifikasi. Rancangan antenna setelah optimasi untuk *patch* lingkaran ditunjukkan pada Gambar 2, untuk *patch* persegi panjang pada Gambar 3 dan *patch* elips pada Gambar 4. Dimensi antenna setelah optimasi dapat juga dilihat pada Tabel III.



Gambar 2. Rancangan antenna *patch* lingkaran



Gambar 3. Rancangan Antena *patch* persegi panjang

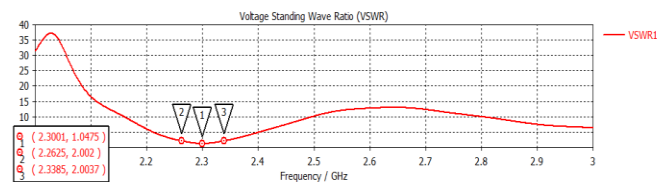


Gambar 4. Rancangan Antena *patch* Elips

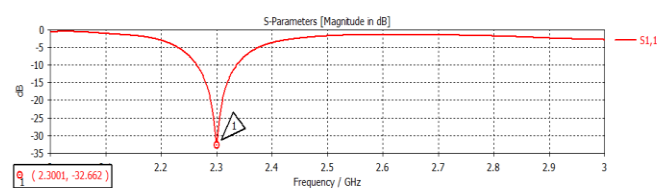
TABEL III. DIMENSI ANTENA HASIL OPTIMASI

Notasi	Nilai (dalam mm)			Keterangan
	Lingkaran	Persegi Panjang	Elips	
α	18	-	-	Jari-jari
a	-	-	35,8	Sumbu mayor
b	-	-	18	Sumbu minor
W_p	-	49	-	Lebar patch
L_p	-	57	=	Panjang patch
W_g	45	38,4	80	Lebar ground plane
L_g	65	39,52	70	Panjang ground plane
W_f	4	5	5,6	Lebar saluran pencatu
L_f	15,2	15,7	15,7	Panjang saluran pencatu
y	9,684	9,36	4,8	Panjang empty space
x	11,8	10,6	13,8	Lebar empty space

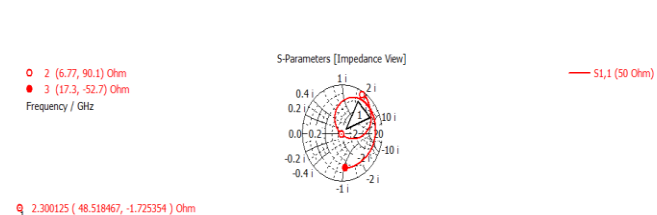
Setelah dilakukan simulasi pada rancangan antenna *patch* lingkaran diperoleh nilai VSWR pada Gambar 5 yaitu pada marker 1 sebesar 1,0475. Marker 2 dan 3 menunjukkan batas bawah dan batas atas rentang frekuensi yang memenuhi nilai VSWR < 2 untuk menentukan *bandwidth*. Nilai *bandwidth* ini diperoleh sebesar 76 MHz. Grafik koefisien refleksi diperlihatkan pada Gambar 6, dengan nilai pada frekuensi 2,3 GHz adalah sebesar -32,662 dB. Gambar 7 menunjukkan impedansi 48,5184 – j1,72535 Ω . Gambar 8 menunjukkan nilai *gain* maksimum yang diperoleh sebesar 2,492 dB.



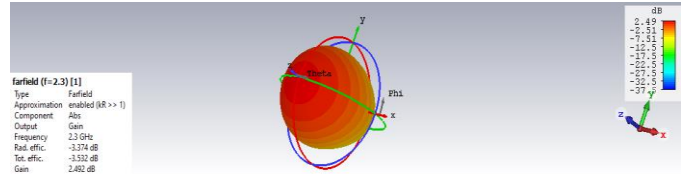
Gambar 5. Grafik VSWR antenna *patch* lingkaran



Gambar 6. Grafik koefisien refleksi antenna *patch* lingkaran



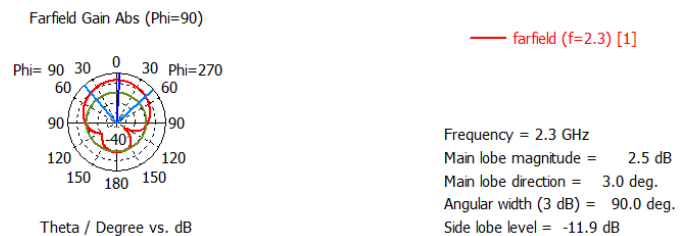
Gambar 7. Impedansi antenna *patch* lingkaran



Gambar 8. Grafik *Gain* antenna *patch* lingkaran



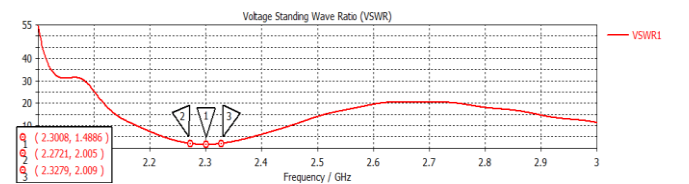
Gambar 9. Pola radiasi sudut azimuth antenna *patch* lingkaran



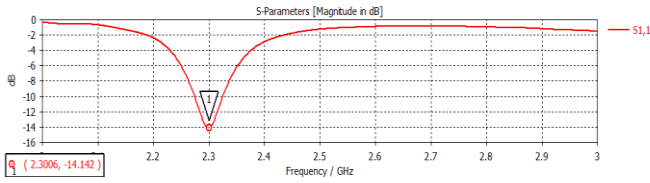
Gambar 10. Pola radiasi sudut elevasi antenna *patch* lingkaran

Pada Gambar 9 dan Gambar 10, pola radiasi yang didapat dari hasil optimasi antenna *patch* lingkaran merupakan pola radiasi *directional*

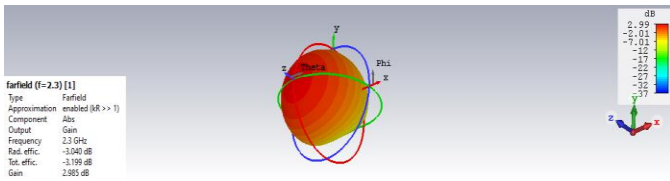
Berikutnya, setelah dilakukan optimasi pada rancangan antenna *patch* persegi panjang diperoleh grafik kinerja antenna. Nilai VSWR sebesar 1,4886 pada frekuensi 2,3 GHz ditunjukkan dalam Gambar 11. Nilai VSWR pada marker 2 dan marker 3 menunjukkan batas frekuensi bawah dan frekuensi atas yang memenuhi VSWR < 2. Marker 2 berada pada frekuensi bawah 2,2721 GHz dan marker 3 menandai frekuensi atas 2,3279 GHz, sehingga diperoleh *bandwidth* sebesar 55,8 MHz. Grafik koefisien refleksi diperlihatkan pada Gambar 12, diperoleh koefisien refleksi sebesar -14,142 dB pada frekuensi 2,3 GHz. Gambar 13 menunjukkan nilai *gain* maksimum yang diperoleh sebesar 2,958 dB dan Gambar 14 menunjukkan impedansi sebesar 50,8708 + j20,168 Ω . Pola radiasi azimuth ditunjukkan pada Gambar 15 dan pola radiasi elevasi pada Gambar 16, keduanya memperlihatkan pola radiasi *directional*.



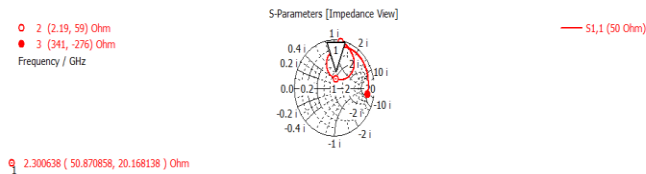
Gambar 11. VSWR antenna *patch* persegi panjang



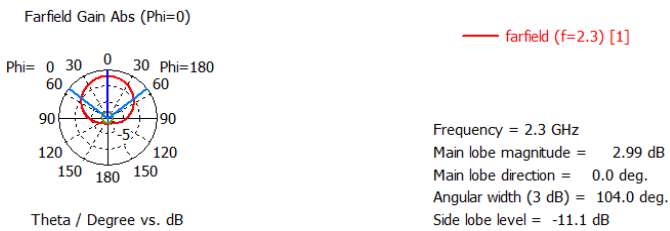
Gambar 12. Koefisien refleksi antenna *patch* persegi panjang



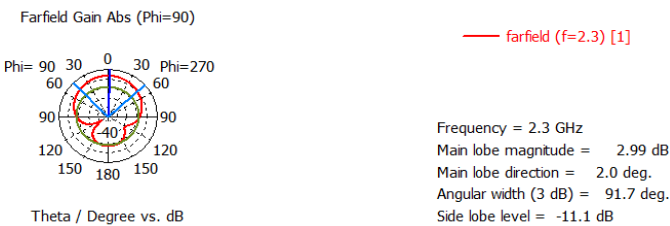
Gambar 13. Gain antenna *patch* persegi panjang



Gambar 14. Impedansi antenna *patch* persegi panjang



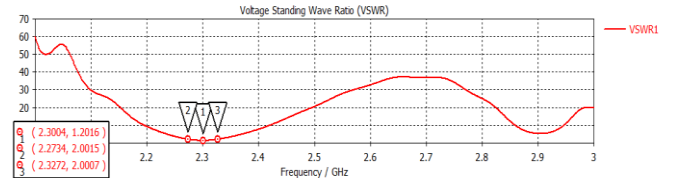
Gambar 15. Pola radiasi azimuth antenna *patch* persegi panjang



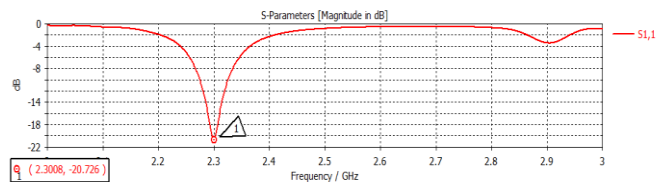
Gambar 16. Pola radiasi elevasi antenna *patch* persegi panjang

Yang terakhir adalah hasil simulasi perancangan *patch* elips. Setelah dilakukan simulasi pada rancangan antenna *patch* elips diperoleh nilai VSWR dan *bandwidth* pada Gambar 17 (VSWR pada *marker* 1 dan *bandwidth* pada *marker* 2 dan 3), dengan nilai berturut-turut sebesar 1,2016 dB dan 53,8 MHz. Lalu,

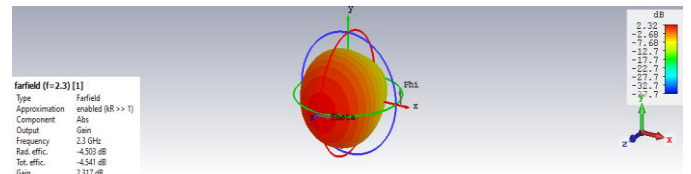
seperti yang terlihat pada Gambar 18 nilai koefisien refleksi sebesar -20,726 dB. Nilai *gain* yang diperoleh sebesar 2,317 dB pada Gambar 19. Sedangkan nilai impedansi pada Gambar 20 sebesar 45,7768 – j7,7520 Ω. Pola radiasi azimuth pada Gambar 21 dan pola radiasi elevasi pada Gambar 22 menunjukkan pola radiasi *directional*.



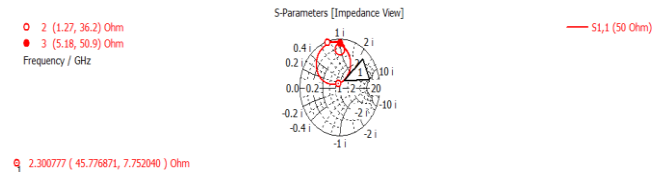
Gambar 17. VSWR antenna *patch* elips



Gambar 18. Koefisien refleksi antenna *patch* elips



Gambar 19. Gain antenna *patch* elips



Gambar 20. Impedansi antenna *patch* elips



Gambar 21. Pola radiasi sudut azimuth antenna *patch* elips



Gambar 22. Pola radiasi sudut elevasi antenna patch elips

TABEL IV. PERBANDINGAN PARAMETER KINERJA ANTENA

Parameter	Bentuk Patch		
	Lingkaran	Persegi Panjang	Elips
Frekuensi resonan (GHz)	2,3001	2,3008	2,3004
Koefisien Refleksi (dB)	-32,662	-14,142	-20,726
VSWR	1,0475	1,4877	1,2016
Impedansi (ohm)	48,5184 – j1,7253Ω	50,8708 + j20,168 Ω	45,7768 – j7,7520 Ω
Bandwidth (MHz)	76	55,8	53,8
Gain (dB)	2,492	2,958	2,317
Pola radiasi	directional	directional	directional

Perbandingan nilai parameter kinerja ketiga bentuk antenna dapat dilihat pada Tabel IV. Ketiga antenna ini memiliki kesamaan pada bentuk pola radiasinya, yaitu memiliki pola radiasi *directional*. Dari hasil simulasi antenna di atas, *patch* lingkaran memiliki nilai VSWR terkecil yaitu 1,0475, sedangkan *patch* persegi panjang memiliki nilai VSWR terbesar yaitu 1,4877. Hasil simulasi antenna *patch* lingkaran memiliki nilai koefisien refleksi terkecil yaitu -32,662 dB, sedangkan *patch* persegi panjang memiliki nilai koefisien refleksi terbesar yaitu -14,142 dB.

Patch persegi panjang memiliki nilai *gain* terbesar yaitu 2,958 dB, sedangkan untuk *patch* elips memiliki nilai *gain* terkecil yaitu 2,317 dB. *Bandwidth* terbesar dimiliki oleh *patch* lingkaran yaitu sebesar 76 MHz, sedangkan *bandwidth* terkecil dimiliki oleh elips yaitu sebesar 53,8 MHz. Dan ketiga sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan spesifikasi parameter antenna yang diinginkan koefisien refleksi bernilai $\leq -9,54$ dB, VSWR bernilai ≤ 2 , impedansi sebesar 50Ω , mendapatkan *gain* ≥ 2 dB, dan rentang *bandwidth* di atas 50 MHz, maka antenna-antenna yang telah disimulasikan ini telah memenuhi nilai spesifikasi koefisien refleksi, VSWR, *gain*, dan *bandwidth*. Sementara

untuk nilai impedansi antenna mendekati nilai spesifikasi. Untuk frekuensi resonansi, ketiga antenna ini sudah tepat bekerja pada frekuensi 2300 MHz. Dari hasil perancangan ketiga *patch* antenna, secara keseluruhan dapat dilihat bahwa antenna *patch* lingkaran memiliki kinerja yang baik dibandingkan dengan kedua *patch* lainnya. Lingkaran memiliki koefisien refleksi yang paling kecil, VSWR yang paling mendekati 1, dan *bandwidth* yang paling besar. Tetapi untuk *gain*, *patch* persegi panjang memiliki *gain* yang paling besar dibandingkan dengan kedua *patch* lainnya..

REFERENSI

- Akila, P., Akshaya, P., Aparna, L., Mary, J., & Mol, S. (2018). Design and Analysis of Microstrip Patch Antenna Using Alumina and Paper Substrate for WiFi Application. *International Research Journal of Engineering and Technology*. www.irjet.net
- Balanis, C. A. (2005). *Antenna Theory : Analysis and Design* (3rd ed.). John Wiley and Son.
- Garg, R., Bhartia, P., & Bahl, I. J. (2001). *Microstrip Antenna Design Handbook*. Artech House.
- Kumar, G., Ray, K. P., & Ray, K. P. (2003). *Broadband Microstrip Antennas*. Artech House. <https://books.google.co.id/books?id=XZ0vDwAAQBAJ>
- Kurniawan, D. F. ., Dahlan, E. A., & Pratama, A. Y. (2010). Antena Mikrostrip Circular Array Dual Frekuensi. *EECCIS*, 4(1), 39–44.
- Nakar, P. S. (2004). *Design of a Compact Microstrip Patch Antenna for Use in Wireless/Cellular Devices*. Florida State University.
- Octavianny, F., Wijanto, H., & Prasetyo, A. D. (2016). Perbandingan Antena Mikrostrip Patch Lingkaran dan Persegi Polarisasi Sirkular untuk Synthetic Aperture Radar Frekuensi 1.27 GHz. *E-Proceeding of Engineering*, 3(3), 4418–4426.
- Pozar, D. M. (2012). *Microwave Engineering*, (4th ed.). John Wiley and Son .
- Ramamurthy, V., Maniyar, A., Ramamoorthy, V., & Professor, A. (2015). *Parameter Analysis of Elliptical Microstrip Patch Antenna(EMPA) for WLAN Application Using Different Feeding Techniques*. <https://www.researchgate.net/publication/301477172>
- Ramesh, M., & K.B., Y. (2003). Design Formula for Inset Fed Mikrostrip. *Journal of Microwaves and Optoelectronics*, 3(3), 5–10.
- Stutzman, W. L., & Thiele, G. A. (2012). *Antenna Theory and Design* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Usman, U. K., Prihatmoko, G., Hendraningrat, D. K., & Purwanto, S. D. (2012). *Fundamental Teknologi Seluler LTE (Long Term Evolution)*. Rekayasa Sains .