

# SIMULASI ANTENA MIKROSTRIP RECTANGULAR PATCH ARRAY 1X2 UNTUK ACCESS POINT TP-LINK FREKUENSI 2.4 GHz

Oleh : Arief Rinaldi<sup>1</sup>, Yenniwarti Rafsyam<sup>2</sup>, Jonifan<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi D3 Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta

Jalan Prof. Dr. G.A Siwabessy, Kota Depok, 16424, Indonesia

<sup>(3)</sup> Universitas Gunadarma Jakarta.

Jl. Margonda Raya No. 100 Pondok Cina. Depok

E-mail: yenniwarti.rafsyam@elektro.pnj.ac.id<sup>2</sup>

## Abstrak

Antena mikrostrip merupakan antena kecil berbentuk lempengan yang dapat dibuat dari plat PCB yang terdiri atas tiga elemen, yaitu peradiasi (radiator), elemen substrat (substrate) dan elemen pertanahan (ground). Antena berfungsi untuk memberikan akses internet pada jaringan lokal yang terhubung dengan access point TP-link untuk proses transmisi data. Antena yang digunakan pada access point merupakan antena mikrostrip rectangular patch array 1x2 yang bekerja pada frekuensi 2.4 GHz, dirancang menggunakan software CST 2019. Hasil simulasi antena untuk parameter return loss menunjukkan nilai sebesar -35.80 dB dan VSWR sebesar 1.03 dengan nilai gain sebesar 5.12 dB. Hasil simulasi antena mikrostrip rectangular patch array 1x2 sesuai dengan spesifikasi yang diperlukan sebagai antena pengganti access point TP-link untuk mengirimkan data kadar garam dan suhu aquarium ikan badut.

**Kata kunci :** Antena mikrostrip, CST 2019, Gain, Return loss, VSWR.

## Abstract

Mikrostrip antenna is a small slab shaped antenna tht can be made from PCB plates consisting of three elements, namely radiation, subtrate, and ground element. The anntenas serves to provide internet access on the local netwrok connected to the Tp-Link access point for the data transmission process. The antenna used is a 1x2 rectangular patch array mikrostrip antenna that works at a frequency of 2.4 GHz, designed using CST 2019 software. The antenna simulation results for the return loss parameter show a value of -35.80 dB and a VSWR of 1.03 with a gain value of 5.12 dB. Smulation result of rectangular patch array 1x2 mikrostrip antenna to replace the Tp-link access point to transmit salt content and temperature data for the clown fish aquarium.

**Keywords :** Mikrostrip antenna, CST 2019, Gain, Return loss, VSWR.

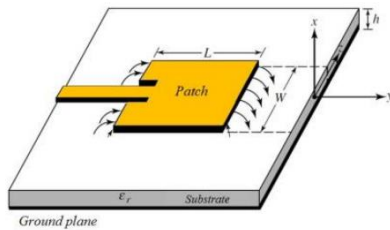
## 1. Pendahuluan

Antena merupakan perangkat keras yang berguna sebagai pemancar maupun penerima gelombang elektromagnetik (Bagus dkk., 2020). Antena mengubah sinyal listrik menjadi gelombang elektromagnetik, kemudian memancarkannya ke ruang bebas atau sebaliknya yaitu menangkap gelombang elektromagnetik dari ruang bebas dan mengubahnya menjadi sinyal listrik (Christyono dkk., 2016). Antena mikrostrip merupakan antena kecil berbentuk lempengan yang dapat dibuat dari plat PCB yang terdiri atas tiga elemen, yaitu peradiasi (radiator), elemen substrat (substrate) dan elemen pertanahan (ground) yang berfungsi

sebagai perantara sistem *tp-link* dengan *user* agar saling bertukar data (Dewantoro, 2011). Namun antena mikrostrip memiliki *bandwitdh* yang tidak luas dan menghasilkan nilai *gain* yang kecil. Untuk meningkatkan *bandwitdh* dan nilai *gain*-nya, maka dilakukan teknik *array* agar *bandwidth* yang dihasilkan semakin luas dengan nilai *gain* yang lebih besar. Antena *array* adalah suatu antena yang dibentuk oleh susunan sejumlah elemen antena tunggal yang merupakan gabungan dari beberapa elemen peradiasi yang membentuk suatu jaringan (Irtawaty dkk., 2018).

## 2. Tinjauan Pustaka

Antena Mikrostrip adalah antena yang tersusun dari tiga lapisan elemen, yaitu *patch*, *substrat*, dan *groundplane*. Antena mikrostrip *array* memiliki bentuk susunan dari beberapa antena mikrostrip, bertujuan untuk meningkatkan nilai parameter yang diinginkan (Amri dkk., 2017). Lapisan antena mikrostrip, ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lapisan Elemen Antena Mikrostrip.

Untuk mengetahui kinerja dari antena yang dirancang, maka dilihat dari nilai parameternya. Adapun beberapa parameter antena yang digunakan untuk menganalisis suatu antena adalah *return loss*, *Voltage Wave Standing Ratio (VSWR)*, *bandwith*, dan *gain*. *Return Loss* digambarkan sebagai perbandingan antara amplitudo dari perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan, dimana peningkatan amplitudo dari gelombang yang direfleksikan ( $V_0^-$ ) dibanding dengan gelombang ( $V_0^+$ ) (Trisnawan dkk., 2017).

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

Nilai *return loss* yang baik adalah sebesar lebih kecil atau sama dengan -9,54 dB.

*Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)* adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri maksimum ( $|V|_{\max}$ ) dengan minimum ( $|V|_{\min}$ ) yang bekerja pada frekuensi yang diinginkan (Fadhli, 2013).

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}$$

Nilai VSWR yang baik pada suatu antena adalah lebih kecil atau sama dengan dua. Nilai *bandwidth* dapat diketahui apabila nilai frekuensi bawah dan frekuensi atas, dimana frekuensi bawah adalah nilai frekuensi awal dari frekuensi kerja antena, sedangkan frekuensi atas merupakan nilai frekuensi akhir dari frekuensi kerja antena (Puspitasari dkk., 2015).

$$BW = f_{\square} - f_i$$

*Gain* merupakan penguatan antena terhadap sinyal hasil tangkapan ataupun sinyal hasil pancaran. Besarnya *gain* suatu antena dapat dihitung dengan membandingkan intensia radiasi maksimum suatu antena dengan intensitas radiasi antara sumber dengan daya *input* yang sama (Jalaluddin dkk., 2020).

Untuk melakukan perancangan antena, ditentukan terlebih dahulu spesifikasi dan parameter antena yang diinginkan yang ditampilkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Parameter Antena

Parameter	Spesifikasi
<i>Gain</i>	≥ 5 dB
Frekuensi Kerja	2.4 GHz
VSWR	1 ≤ VSWR ≤ 2
<i>Return Loss</i>	≤ -10 dB
Bentuk <i>Patch</i>	<i>Rectangular array 1x2</i>

Pada Tabel 1, menunjukan parameter antena yang akan dirancang, memiliki spesifikasi *Gain* lebih besar sama dengan lima yang bekerja pada frekuensi 2.4 GHz. Suatu antena bekerja baik jika memiliki nilai VSWR sama dengan 1, yang artinya semua sinyal terpancarkan/terkirim seluruhnya, tanpa ada sinyal yang dikembalikan, sedangkan nilai parameter *return loss (s-parameter)* bernilai kurang lebih atau sama dengan (≤ -10 dB).

Tabel 2 Spesifikasi Substrat Antena

Jenis Substrat	Spesifikasi
Bahan	FR-4 Epoxy
Konstanta Dielektrik Relatif	4.4
Ketebalan Substrat	1.6 mm
Ketebalan Konduktor	0.035 mm
Impedansi Beban Saluran	50 Ohm

Pada Tabel 2, bahan substrat yang digunakan terbuat dari PCB yang berbahan FR-4 Epoxy, dengan nilai konstanta dielektrik relatif senilai 4.4 dengan ketebalan substrat 1.6 mm. Pada bagian ketebalan konduktor setebal 0.035 mm dengan impedansi beban saluran 50 Ohm.

Untuk mendapatkan akses internet, antena dipasang pada perangkat *access point*. *Access point* merupakan perangkat yang menghubungkan perangkat lain secara *wireless*, dengan menggunakan teknologi *Wireless Fidelity* (Wi-Fi), sehingga perangkat yang terhubung, mendapatkan akses internet (Sumpena dkk., 2020).

### 3. Metodologi Penelitian

Antena *patch rectangular* juga sering dimodelkan seperti saluran transmisi mikrostrip dengan panjang (L), lebar (W), ketebalan substrat (h), dan konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ).

Lebar *patch* (L) menggunakan persamaan (1)

$$W = \frac{c}{2(fr)\sqrt{\frac{\epsilon_r+1}{2}}} \quad (1)$$

$$W = \frac{3x10^8}{2(2.4 x 10^9)} \sqrt{\frac{2}{4.3 + 1}}$$

$$W = 38 \text{ mm}$$

Dimana:

W: lebar konduktor

c : kecepatan cahaya di ruang bebas ( $3 \times 10^8$ )

fr : frekuensi kerja antena

Panjang *patch* (L)

Untuk mendapatkan panjang *patch*, terlebih dahulu dilakukan perhitungan nilai dielektrik efektif ( $\epsilon_{eff}$ ) dengan persamaan (2).

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \left( \frac{h}{w} \right) \right]^{-1/2} \quad (2)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{4.3 + 1}{2} + \frac{4.3 - 1}{2} \left[ 1 + 12 \left( \frac{1.6}{38} \right) \right]^{-1/2}$$

$$\epsilon_{eff} = 4,08562 \text{ mm}$$

Kemudian dilakukan perhitungan panjang efektif ( $L_{eff}$ ) dan *extended length* ( $\Delta L$ ) dengan menggunakan persamaan (3) dan (4).

$$L_{eff} = \frac{c}{2(fr)\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3)$$

$$L_{eff} = \frac{3x10^8}{2(2.4x10^9)(\sqrt{4,08562})}$$

$$L_{eff} = 30.92 \text{ mm}$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{eff}+0.3)\left(\frac{w}{h}+0.264\right)}{(\epsilon_{eff}-0.258)\left(\frac{w}{h}+0.8\right)} \quad (4)$$

$$\Delta L = 0,412 (1,6) \frac{(4,08562 + 0,3) \left(\frac{38}{1,6} + 0,264\right)}{(4,08562 - 0,258) \left(\frac{38}{1,6} + 0,8\right)}$$

$$\Delta L = 0,7388$$

Jika nilai  $L_{eff}$  dan  $\Delta L$  sudah diketahui, maka L dapat dicari dengan persamaan (5).

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (5)$$

$$L = 30,92 - 2 \times 0,7388$$

$$L = 29,4 \text{ mm}$$

$$L \approx 29 \text{ mm}$$

Teknik pencatutan pada antena mikrostrip cukup beragam dimana salah satu yang paling umum digunakan adalah menggunakan teknik pencatutan *microstrip line*. Lebar saluran catuan utama didapatkan dengan menggunakan persamaan (6).

Besar saluran pencatu 50 Ohm

$$B = \frac{60\pi^2}{Zo\sqrt{\epsilon_r}} \quad (6)$$

$$B_{ZL} = \frac{60\pi^2}{50\sqrt{4,3}}$$

$$B_{ZL} = 5,6461$$

Besar saluran pencatu 70 Ohm

$$B_{ZL} = \frac{60\pi^2}{70\sqrt{4,3}}$$

$$B_{ZL} = 4,0329$$

Berdasarkan persamaan tersebut, nilai lebar feedline didapatkan dengan persamaan (7):

$$W_z = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[ \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (7)$$

$$(W_{ZL}) \frac{2 \times 1,6}{\pi} (5,6461 - 1 - \ln(2 \times 5,6461 - 1))$$

$$+ \frac{4,3 - 1}{2 \times 4,3} \left[ \ln(5,6461 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{4,3} \right]$$

$$W_{ZL} = 2.5 \text{ mm}$$

Impedansi antena merupakan impedansi input yang diberikan antena terhadap rangkaian luar atau saluran transmisi menuju antena. Impedansi tersebut perbandingan antara tegangan dan arus atau medan listrik dan medan magnet yang sesuai dengan orientasinya. Hubungan antara impedansi input ( $Z_{in}$ ) dengan impedansi saluran transmisi ( $Z_0$ ) akan menentukan besarnya nilai koefisien refleksi.

Dimana  $\lambda_d$  merupakan panjang gelombang pada bahan dielektrik yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan (8):

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_e f}} \quad (8)$$

$$\lambda_d = \frac{3 \times 10^8}{\frac{2 \times 4 \times 10^9}{\sqrt{4,31}}}$$

$$\lambda_d = 59,59 \text{ mm}$$

Panjang saluran (LT) dengan persamaan (9):

$$L_T = \frac{1}{4} \lambda_d \quad (9)$$

$$L_T = \frac{59,59}{4}$$

$$L_T \approx 15 \text{ mm}$$

$\lambda_0$  merupakan panjang gelombang di udara bebas, dengan persamaan:

$$\lambda_d = \frac{c}{f} \quad (10)$$

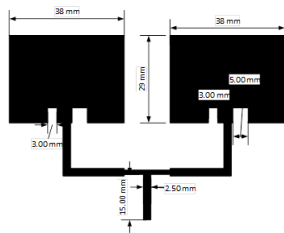
$$\lambda_d = \frac{3 \times 10^8}{\frac{2 \times 4 \times 10^9}{\sqrt{4,31}}} = 59,59 \text{ mm}$$

Setelah dilakukan perhitungan elemen antena diatas, disusun kembali dalam bentuk tabel, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter Awal Simulasi Antena

Simbol Parameter	Nilai Parameter (mm)	Keterangan
x1	5	E-Shape 1
x0	3	E-Shape 2
wq	93	Lebar Ground
wf2	1.43	Lebar T Junction 70 ohm
wf	2.5	Lebar feed 50 ohm
w	38	Lebar Patch
t	0.035	Tebal Konduktor
r	15	Jarak antar patch
lg	80	Panjang Ground
lf	15	Panjang feed 50 ohm
l	29	Panjang patch
h	1.6	Tebal Dielektrik
pv	5	Tinggi E-Shape

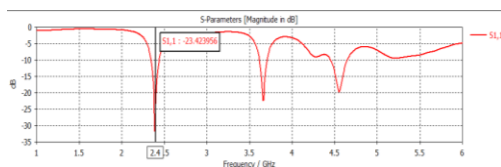
Tabel 3 menunjukkan parameter awal antenna yang akan digunakan sebagai acuan dalam merancang dan melakukan simulasi antenna dengan menggunakan *software* CST Studio Suite 2019. Berdasarkan parameter tersebut, dapat dilihat pada Gambar 2 menunjukkan hasil desain antenna mikrostrip *rectangular patch array* 1x2.



Gambar 2 Desain antenna mikrostrip *rectangular patch array* 1x2.

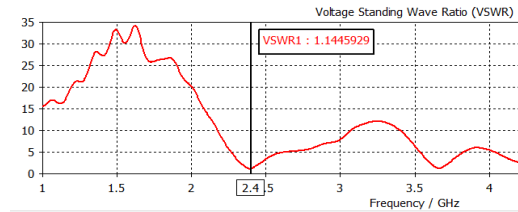
#### 4. Hasil dan Pembahasan

Simulasi antenna dilakukan dengan memasukkan nilai-nilai parameter dimensi antenna ke dalam tabel parameter *software* CST Studio Suite 2019 agar spesifikasi dan ukuran antenna yang dirancang sesuai dengan nilai yang telah dihitung sebelumnya. Hasil simulasi parameter yang dilihat yaitu *return loss*, *VSWR*, *gain*, dan pola radiasi. Data hasil simulasi *return loss* ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Hasil Simulasi *Return Loss*

Gambar 3 Menunjukkan nilai *return loss* yang dihasilkan adalah -23.423956, sudah memenuhi syarat dimana nilai *Return Loss*  $\leq 10$  dB. Hasil tersebut dikatakan baik dan sudah memenuhi spesifikasi dari parameter antenna yang diinginkan. Data hasil simulasi *VSWR* ditampilkan pada Gambar 4.



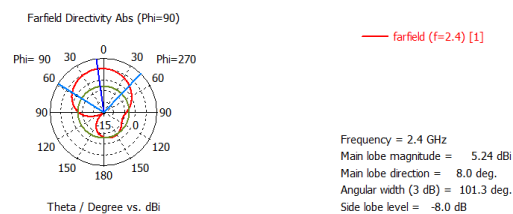
Gambar 4 Hasil Simulasi *VSWR*

Gambar 4 menunjukkan *VSWR* antenna mikrostrip sebesar yang dihasilkan pada frekuensi 2.4 GHz yaitu 1.14. Hasil yang didapat sudah memenuhi syarat dimana  $VSWR \leq 2$ . Data hasil simulasi *Gain* ditampilkan pada Gambar 5.

farfield (f=2.4) [1]	
Type	Farfield (Array)
Approximation	enabled (kR >> 1)
Component	Abs
Output	Gain
Frequency	2.4 GHz
Rad. Effic.	-3.143 dB
Tot. Effic.	-3.146 dB
Gain	5.129 dBi

Gambar 5 Hasil Simulasi *Gain*

Gambar 5 menunjukkan *gain* antenna mikrostrip yang dihasilkan sebesar 5.13 dBi, dimana dalam hal ini sudah memenuhi persyaratan parameter dimana  $gain \geq 5$  dBi. Data hasil simulasi pola radiasi ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Polaradiasi Antena

Gambar 6 menunjukkan pola radiasi pada bidang horizontal (azimut) dimana untuk frekuensi 2,4 GHz lebar *beamwidth* sebesar 101.3° dengan daya *main lobe* sebesar 5.24 dB pada sudut 8°. Berdasarkan data pada simulasi tersebut, dapat diketahui nilai yang dihasilkan untuk *return loss*, *VSWR*, dan *gain* sudah memenuhi spesifikasi antenna yang

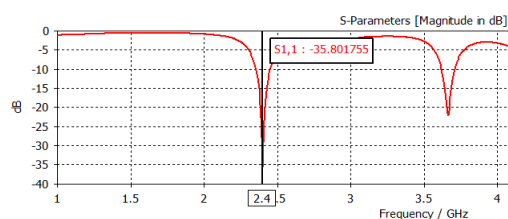
diharapkan, namun perlu dilakukan optimasi agar mendapatkan hasil yang lebih baik lagi.

Optimasi dilakukan dengan cara mengubah dimensi atau nilai parameter antenna hingga mendapatkan hasil simulasi yang memenuhi spesifikasi. Karena begitu banyak simulasi optimasi yang dilakukan, maka dapat dilihat pada Tabel 4 menunjukkan nilai optimasi akhir parameter antenna.

Tabel 4. Parameter Akhir Simulasi Antena mikrostrip *rectangular patch array 1x2*.

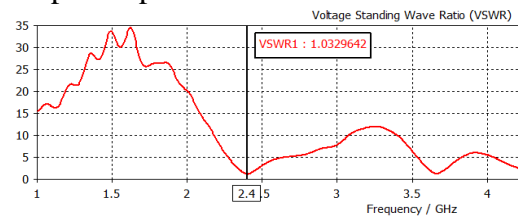
Simbol Parameter	Nilai Parameter (mm)	Keterangan
x1	5	E-Shape 1
x0	3	E-Shape 2
wq	93	Lebar Ground
wf2	1.43	Lebar T Junction 70 ohm
wf	2.5	Lebar feed 50 ohm
w	37.84	Lebar Patch
t	0.035	Tebal Konduktor
r	15	Jarak antar patch
lg	80	Panjang Ground
lf	15	Panjang feed 50 ohm
l	28.87	Panjang patch
h	1.6	Tebal Dielektrik
pv	5	Tinggi E-Shape

Data hasil simulasi *return loss* ditampilkan pada Gambar 7



Gambar 7 Hasil Simulasi *Return Loss*.

Gambar 7 Menunjukkan nilai *retrun loss* yang dihasilkan adalah tampak Nilai *return loss* yang dihasilkan adalah -35.8017, yang telah memenuhi syarat dimana nilai *Return Loss*  $\leq 10$  dB. Hasil tersebut sudah dikatakan baik dimana frekuensi kerja pada frekuensi kerja yang diinginkan yaitu 2,4 GHz. Data hasil simulasi *VSWR* ditampilkan pada Gambar 8.



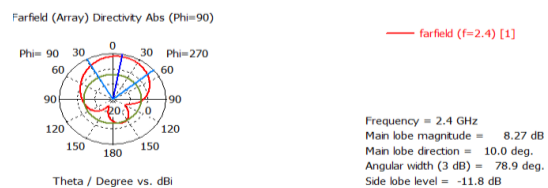
Gambar 8 Hasil Simulasi *VSWR*

Gambar 8 menunjukkan *VSWR* yang dihasilkan pada frekuensi 2.4 GHz yaitu Nilai *VSWR* yang dihasilkan pada frekuensi 2.4 GHz yaitu 1.03. Hasil yang didapati sangat baik dan sudah memenuhi syarat dimana  $VSWR \leq 2$ . Data hasil simulasi *Gain* ditampilkan pada Gambar 9.

farfield (f=2.4) [1]	
Type	Farfield (Array)
Approximation	enabled (kR >> 1)
Component	Abs
Output	Gain
Frequency	2.4 GHz
Rad. Effic.	-3.149 dB
Tot. Effic.	-3.154 dB
Gain	5.117 dBi

Gambar 9 Hasil Simulasi *Gain*

Gambar 9 menunjukkan *gain* antenna mikrostrip yang dihasilkan sebesar 5.13 dBi, dimana dalam hal ini sudah memenuhi persyaratan parameter dimana  $gain \geq 5$  dBi. Data hasil simulasi *polaradiasi* ditampilkan pada Gambar 10.



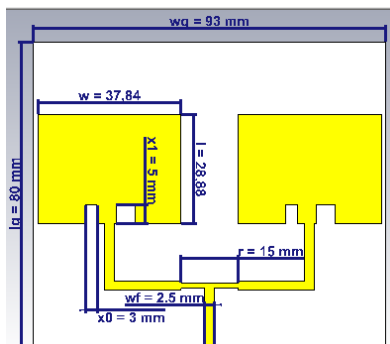
Gambar 10 Hasil Simulasi *Polaradiasi*

Gambar 10 menunjukkan pola radiasi pada bidang horizontal (azimut) dimana untuk frekuensi 2,4 GHz lebar *beamwidth* sebesar  $78.8^\circ$  dengan daya *main lobe* sebesar 8.27 dBi pada sudut  $10^\circ$ . Berdasarkan data pada simulasi tersebut, dapat diketahui nilai yang dihasilkan untuk *return loss*, dan VSWR telah memenuhi persyaratan dari perancangan parameter, dan ditampilkan nilai perbandingan hasil parameter antenna pada Tabel 5.

Gambar 5 Perbandingan Hasil Simulasi saat Sebelum dan Sesudah Optimasi

Parameter	Spesifikasi	Sebelum Optimasi	Sesudah Optimasi
<i>Return loss</i>	$\geq 5$ dB	-23.4239 dB	-35.80 dB
VSWR	$1 \leq \text{VSWR} \leq 2$	1.1445	1.03
<i>Gain</i>	$< -10$ dB	5.13 dB	5.12 dB

Tabel 5 menunjukkan perbandingan hasil simulasi pada saat sebelum dan sesudah optimasi dimana dapat dilihat hasil yang diperoleh pada optimasi akhir telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan sebelumnya sehingga didapatkan desain akhir antenna mikrostrip *rectangular patch array* setelah dioptimasi seperti pada Gambar 11.



Gambar 11 Desain Akhir Antena Mikrostrip *Rectangular Patch Array* 1x2

### 5. Kesimpulan

Perancangan akhir setelah dilakukan optimasi pada antenna mikrostrip *rectangular patch array* 1x2 menggunakan *software* CST 2019, didapatkan hasil akhir yang bekerja pada frekuensi 2.4 GHz,

memiliki nilai *return loss* sebesar -35.80 dB dan VSWR sebesar 1.03 dengan nilai *gain* sebesar 5.13 dB. Berdasarkan beberapa kali optimasi yang telah dilakukan, dapat diketahui bagian-bagian yang mempengaruhi parameter spesifikasi antenna, seperti perubahan nilai pada *ground* berpengaruh terhadap nilai direktivitas yang dihasilkan, sedangkan ukuran lebar saluran pencatu, *patch* berpengaruh terhadap nilai *return loss* dan VSWR. Selain itu, pemberian *E-Shape* memudahkan untuk membuat nilai VSWR menjadi lebih baik. Hasil simulasi dari antenna mikrostrip *rectangular patch array* 1x2, sudah sesuai dengan spesifikasi untuk antenna Tp-link yang akan digunakan, sehingga, dapat dilakukan proses fabrikasi antenna

### DAFTAR PUSTAKA

Bagus, B. and Bagaskara, A.Y. (2020) ‘Perancangan Antena Mikrostrip Rectangular Patch Sebagai Penerima Televisi’, *Jurnal Penelitian*, 5(1), pp. 11– 20.

Christyono, Y., Santoso, I. and Cahyo, R. D. (2016) ‘Perancangan antenna mikrostrip array pada frekuensi 850 MHz’, *Transmisi*, 18(2), pp. 87–95.

Dewantoro, A. N. (2011) Perancangan Dan Analisis Antena Jaringan Area Lokal Nirkabel 2,4 Ghz’, pp. 2– 9.

Irtawaty, A. S., Ulfah, M. and Hadiyanto, H. (2018) ‘Pengaruh Beamwidth, Gain dan Pola Radiasi terhadap Performansi Antena Penerima’, *JIT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 6(1), p. 14.

Amri, S., Triyono, J. and K, R. Y. R. (2017) ‘Admin-Journal Manager-22-34 Safrial-Amri- Joko Yuliana’, 3(2), pp. 22–34.

Trisnawan, T. and Kristiyana, S. (2017) ‘Rancang Bangun Elemen Antena Patch Spektrum Sebar Menggunakan Aplikasi CST

- Microwave Studio', *Jurnal Elektrikal*, 4(2), pp. 11–19.
- Fadhli, J. (2013) 'Analisis Penerapan Teknologi Jaringan Lte 4G Di Indonesia Fadhli Fauzi, Gevin Sepria Harly, Hanrais Hs', *Majalah Ilmiah UNIKOM*, 10(2), pp. 281–290.
- Puspitasari, N. F. and Pulungan, R. (2015) 'Optimisasi Penempatan Posisi Access Point pada Jaringan Wi-Fi Menggunakan Metode Simulated Annealing', *Creative Information Technology Journal*, 2(1), p. 51.
- Jalaluddin, Imansyah, F. and F. Trias, P. W. (2020) 'Analisis Performansi Jaringan dan Kualitas Sinyal 4G LTE Telkomsel di Area Fakultas Teknik Untan Pontianak', *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 2(1), pp. 1–10.
- Sumpena, M. R., Madiawati, H. and Elisma (2020) 'Desain Antena Susun Mikrostrip Rectangular Patch 4x2 Untuk Aplikasi 5G', *Prosiding The 11th Industrial Research Workshop and National Seminar*, pp. 591–595