

ANTENA SUSUN 4×1 MIKROSTRIP MENGGUNAKAN *BIQUAD* PATCH PADA FREKUENSI X-BAND UNTUK TELEKOMUNIKASI TERESTRIAL

MICROSTRIP ANTENNA ARRAY 4×1 USING BIQUAD PATCH IN X-BAND OPERATIONAL FREQUENCY FOR TERESTRIAL TELECOMMUNICATIONS

Mohammad Luthfi Kurniawan¹, M. Reza Hidayat², Hanny Madiawati³

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro Universitas Jenderal Achmad Yani

³Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bandung

¹luthfimoh28@gmail.com, ²mreza@lecture.unjani.ac.id, ³hannymadiawati@polban.ac.id

Abstrak

Kebutuhan akan pertukaran informasi mendorong perkembangan teknologi telekomunikasi yang dapat menjadi media penyampaian informasi untuk menghubungkan berbagai tempat di permukaan bumi atau disebut telekomunikasi terestrial. Pada komunikasi nirkabel penggunaan gelombang radio sebagai media perambatan informasi dinilai lebih efektif dibandingkan media fisik seperti kabel. Nilai frekuensi gelombang radio yang tinggi seperti X-Band akan menghasilkan dimensi perangkat yang lebih kecil. Penggunaan antena jenis mikrostrip memiliki keunggulan dari segi dimensi yang kecil, fabrikasi murah, dan desain sederhana namun memiliki *gain* yang rendah. Oleh karena itu, perancangan antena mikrostrip dengan metode *array* menjadi sebuah solusi yang dapat digunakan pada pengaplikasian di telekomunikasi terestrial. Pada penelitian ini, telah dirancang dan direalisasikan suatu antena mikrostrip dengan *patch* berbentuk *biquad* dengan metode *array* 4×1 yang beroperasi pada pita frekuensi X-Band. Antena ini bekerja pada frekuensi 11,96 GHz dengan *return loss* sebesar -23,51 dB dan VSWR sebesar 1,13.

Kata kunci: antena, *array*, *biquad*, *mikrostrip*, nirkabel, radio, terestrial, X-Band

Abstract

The need for information exchange that encourages the development of telecommunications technology that can be a medium for delivering information to connect various places on the earth's surface or called terrestrial telecommunications. In wireless communication, the use of radio waves as a medium for propagation of information is considered more effective than physical media such as cables. A high radio frequency value such as X-Band will result in a smaller dimensional device. The use of microstrip type antennas has advantages in terms of small dimensions, inexpensive fabrication, and simple design but has low gain. Therefore, the design of a microstrip antenna with the array method becomes a solution that can be used in applications in terrestrial telecommunications. In this research, a microstrip antenna with a biquad-shaped patch has been designed and realized with a 4×1 array method that operates in the X-Band frequency band. This antenna works at a frequency of 11.96 GHz with a return loss of -23.51 dB and a VSWR of 1.13.

Keywords: antenna, *array*, *biquad*, *mikrostrip*, radio, terestrial, wireless, X-Band

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telekomunikasi memiliki peran penting dalam proses pertukaran informasi yang dilakukan untuk menghubungkan satu tempat ke tempat lain. Penggunaan media fisik seperti kabel dinilai kurang efektif dari segi waktu, biaya dan tenaga jika harus menghubungkan dua atau lebih tempat dalam sistem terestrial (permukaan bumi). Maka dari itu,

media non fisik seperti gelombang radio menjadi sebuah solusi sebagai media untuk menyampaikan pesan informasi [1]. Salah satu elemen penting dalam sistem komunikasi nirkabel adalah antena. dapat dikatakan bahwa antena merupakan media transisi antara saluran transmisi (*waveguide*) dengan ruang bebas [2]. Dalam komunikasi nirkabel antena memiliki peran sebagai *transducer*, radiator, dan resonator. Ukuran antena yang kecil dapat memudahkan proses pemasangan. Jenis antena yang memiliki keunggulan dari segi dimensi yang kecil, fabrikasi yang mudah, serta desain yang sederhana adalah antena jenis mikrostrip [3]. Namun antena jenis ini juga memiliki kekurangan terutama *gain* yang dihasilkannya terbilang rendah.

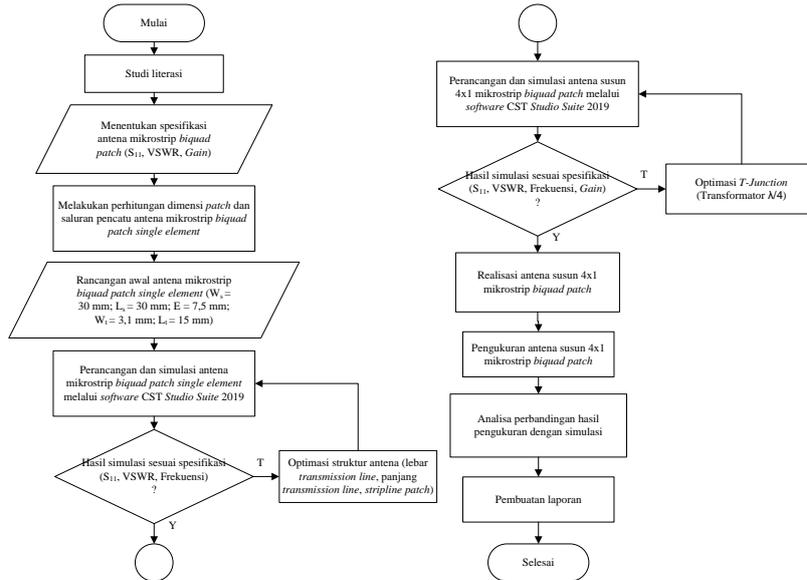
Berdasarkan perkembangan riset, penelitian tentang penggunaan antena mikrostrip untuk penerapan di frekuensi tinggi telah dilakukan sebelumnya. Penelitian pertama merupakan perancangan antena mikrostrip untuk pengaplikasian pada radar *S-Band* dengan metode *array*. Rancangan tersebut menghasilkan $VSWR \leq 1,5$ dan *gain* sebesar 8,049 dB [4]. Penelitian kedua sebuah antena susun mikrostrip penerima 2x16 berhasil direalisasikan dengan frekuensi kerja 11,9 GHz dan *gain* sebesar 18,69 dB [5]. Kemudian pada penelitian ketiga dilakukan perancangan untuk antena mikrostrip dengan *patch rectangular* pada frekuensi 24,05 – 24,25 GHz dan memiliki nilai parameter $VSWR \leq 1,5$, *gain* sebesar 12,086 dB dengan *bandwidth* 575 MHz [6]. Pada penelitian keempat dirancang sebuah antena *biquad* sebagai antena alternatif yang sederhana, berdimensi relatif kecil, fleksibel, praktis, dan murah menggunakan kawat tembaga untuk aplikasi WLAN 2,4 GHz. Didapatkan sebuah antena dengan nilai *return loss* -11,574 dB, $VSWR$ 1,717, *gain* 11,506 dBi dan *bandwidth* 275 MHz [7]. Selain dari keempat penelitian yang telah disebutkan, terdapat juga penelitian terhadap rancangan antena dipol silang yang bekerja pada frekuensi UHF untuk penerima TV digital yang telah direalisasikan. Hasil pengukuran dari rancangan tersebut menunjukkan nilai *gain* maksimum pada 5,821 dBi, dan rentang frekuensi kerja 470 – 806 MHz [8].

Penggunaan antena mikrostrip sudah banyak digunakan dengan berbagai spesifikasi dan aplikasi. Dalam sistem telekomunikasi terestrial, semakin sempit arah pancaran dari radiasi antena maka akan semakin baik karena proses transmisi dari satu antena ke antena lain perlu berada dalam satu garis pandang (*line of sight*). Salah satu cara untuk mempersempit arah pancaran antena adalah dengan memodifikasi bentuk *patch* sedemikian rupa untuk mendapatkan desain dengan arah pancaran lebih sempit dibandingkan bentuk *patch* yang umum seperti *rectangular*. Oleh karena itu perancangan dan realisasi perangkat antena mikrostrip dengan menggunakan *biquad patch* untuk telekomunikasi terestrial pada rentang frekuensi *X-Band* menjadi fokus penelitian ini. Pemilihan frekuensi *X-Band* dilakukan dengan mempertimbangkan semakin penuhnya frekuensi *S-Band* dalam telekomunikasi terestrial, selain itu penggunaan frekuensi yang lebih tinggi dapat menghasilkan kecepatan (*data rate*) yang lebih tinggi juga sehingga pengaplikasian seperti *broadband* dapat lebih baik digunakan.

2. PERANCANGAN

2.1 Diagram Alir

Alur perancangan dan realisasi dari antena susun 4x1 mikrostrip *biquad patch* dibuat ke dalam beberapa tahap agar pelaksanaannya dapat dilakukan secara sistematis. Tahap-tahap pada yang dilakukan dijelaskan pada diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2 Perancangan Antena *Biquad Patch*

2.2.1 Spesifikasi Antena

Spesifikasi antena mikrostrip *biquad patch* didesain menyesuaikan dengan pengaplikasiannya. Dalam penelitian ini telah ditentukan bahwa frekuensi kerja yang akan digunakan pada antena berada pada rentang frekuensi *X-Band* yaitu 10 GHz. Tabel 1 berisikan tentang spesifikasi dari antena yang akan dirancang.

Tabel 1. Spesifikasi antena mikrostrip *biquad patch*

Spesifikasi Antena	Nilai
Frekuensi <i>center</i>	10 GHz
<i>Return loss</i>	≤ -10 dB
VSWR	$\leq 1,3$
<i>Gain</i>	≥ 5.821 dBi

2.2.2 Pemilihan Karakteristik Bahan

Antena mikrostrip terbentuk dari beberapa struktur di antaranya yaitu *ground plane*, *substrate*, dan *patch*. Setiap struktur tersebut dirancang menggunakan material tertentu, untuk untuk *ground plane* dan *patch* dibuat dari bahan tembaga sementara untuk *substrate* terbuat dari bahan *FR-4 epoxy*. Berikut adalah karakteristik dari bahan yang digunakan pada setiap struktur antena yang ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik bahan antena mikrostrip *biquad patch*

Karakteristik Bahan	Jenis Material	Permittivitas	Ketebalan
<i>Patch & Ground Plane</i>	Tembaga (<i>copper</i>)	1	0,035 mm
<i>Substrate</i>	<i>FR-4 epoxy</i>	4,3	1,6 mm

2.2.3 Perhitungan Elemen *Biquad* dan *Substrate*

Dalam perancangan antena mikrostrip *biquad patch*, langkah pertama yang perlu dilakukan adalah dengan melakukan perhitungan untuk dimensi antena. Langkah ini bertujuan

untuk menentukan ukuran dari struktur seperti *patch* dan *substrate* pada antenna mikrostrip berdasarkan frekuensi kerjanya. Antena mikrostrip yang dibuat memiliki frekuensi kerja di 10 GHz. Perhitungan ukuran dimensi antenna dilakukan menggunakan persamaan di bawah ini [9].

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

$$E = \lambda/4 \quad (2)$$

$$L_S = \lambda \quad (3)$$

$$W_S = \lambda \quad (4)$$

Antena *biquad* ini merupakan antenna kombinasi dari dua antenna *quad* dalam satu elemen. Melalui persamaan (1) diketahui panjang dari elemen *driven* antenna *biquad* (λ) adalah 30 mm. Setiap sisi dari elemen *biquad* memiliki panjang sisi (E) yang sama dan dapat dihitung menggunakan persamaan (2) yaitu 7,5 mm. Kemudian bidang *substrate* memiliki ukuran panjang (W_S) dan lebar (L_S) yang sama sebesar 30 mm berdasarkan persamaan (3) dan (4).

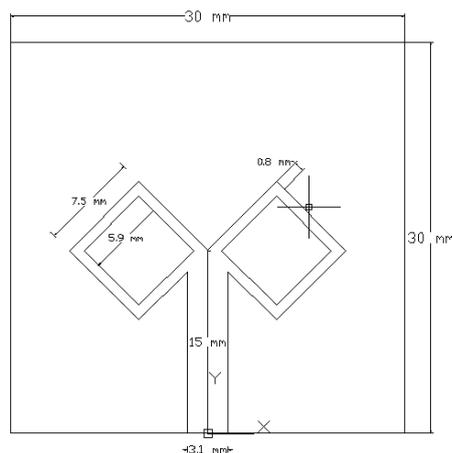
2.2.4 Perhitungan Lebar Saluran Pencatu

Untuk membuat konstruksi antenna benar-benar rata dan mudah dibuat, teknologi pencatutan *microstrip line* memiliki kemampuan untuk di-*etching*-kan pada *substrate* yang sama. Dalam menentukan lebar dari saluran pencatu untuk teknik *microstrip line*, dapat dilakukan dengan persamaan (5) dengan karakteristik impedansi untuk saluran transmisi (Z_0) sebesar 50 Ω [10]. Pada proses perhitungan ini didapatkan nilai dari lebar saluran pencatu sebesar 3,1 mm.

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} - 1 - \ln \left(2 \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} - 1 \right) + \frac{\epsilon_r - 1}{2 \times \epsilon_r} \left[\ln \left(\frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} - 1 \right) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (5)$$

2.2.5 Rancangan Awal Antena Mikrostrip *Biquad Patch* Elemen Tunggal

Setelah serangkaian tahapan yang telah dilakukan dimulai dari penentuan spesifikasi pemilihan bahan, sampai dengan perhitungan dimensi *patch* dan saluran pencatu, maka didapatkan hasil rancangan awal untuk antenna mikrostrip dengan *biquad patch* seperti Gambar 2 di bawah berikut ini.



Gambar 2. Rancangan awal antenna mikrostrip *biquad patch*

3. PEMBAHASAN

3.1 Hasil Simulasi Rancangan Antena Mikrostrip *Biquad Patch* Elemen Tunggal

Desain rancangan awal didapatkan melalui perhitungan dengan menggunakan persamaan matematis untuk mendapatkan ukuran struktur antenna seperti sisi elemen *biquad*, lebar saluran pencatu, dan ukuran *substrate*. Kemudian melalui proses simulasi pada *software CST Studio Suite* 2019 didapatkan hasil seperti Tabel 3 berikut.

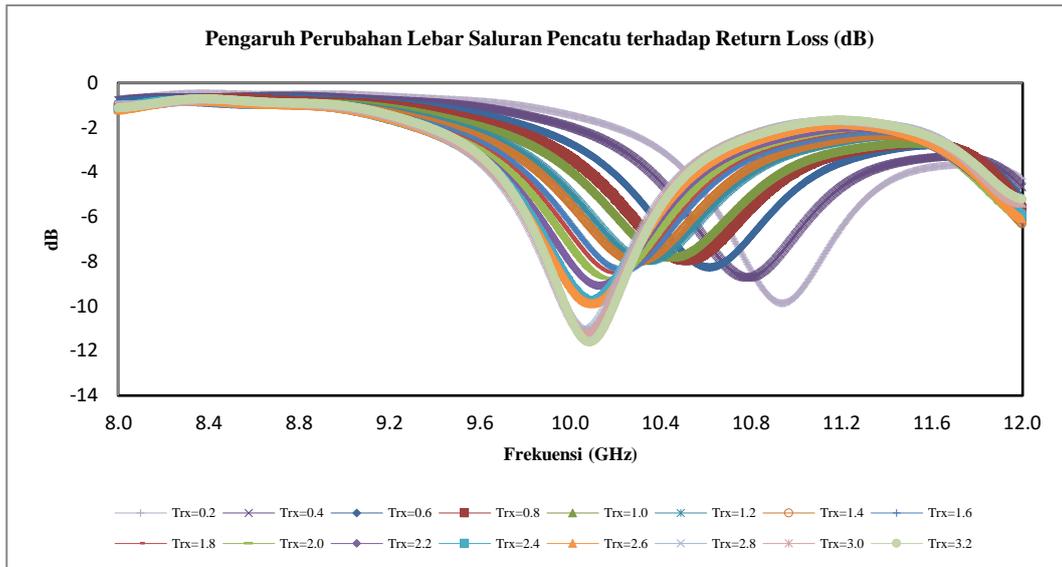
Tabel 3. Hasil simulasi rancangan antenna mikrostrip *biquad patch* elemen tunggal

Frekuensi	S_{11}	VSWR	Gain
10,08 GHz	-11,451 dB	1,7307	2,08 dBi

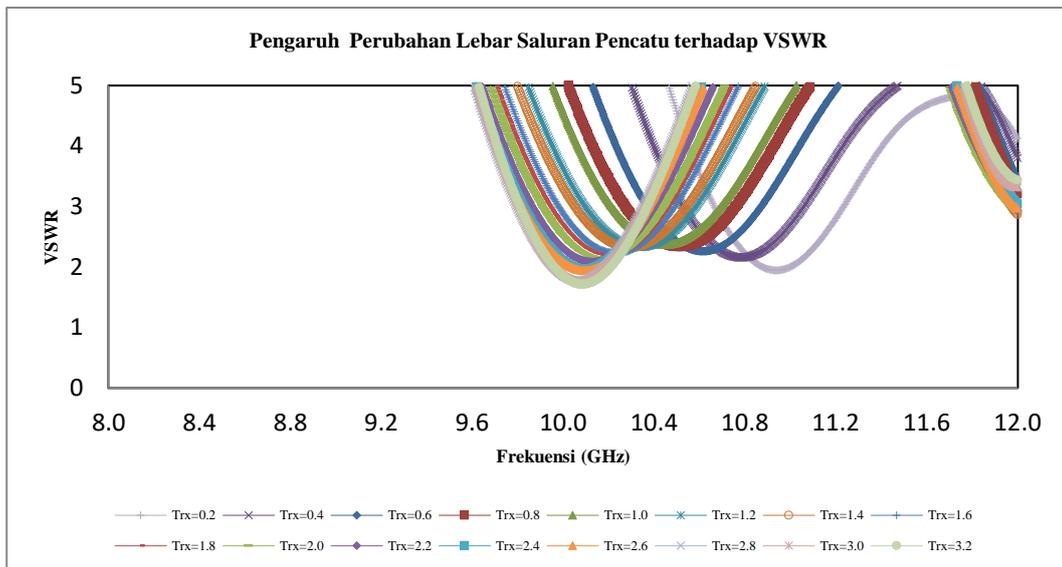
3.2 Hasil Optimasi Antena Mikrostrip *Biquad Patch* Elemen Tunggal

Optimasi antenna mikrostrip elemen tunggal dilakukan karena hasil simulasi belum sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan sebelumnya. Optimasi dilakukan dengan mengubah ukuran dimensi dari beberapa struktur antenna seperti lebar saluran pencatu, panjang saluran pencatu, dan lebar *stripline patch*.

Optimasi pertama yaitu dengan mengubah ukuran dimensi dari lebar saluran pencatu yang dilakukan dalam rentang 3,2-0,2 mm dengan perbedaan jarak sebesar 0,2 mm untuk setiap perubahan. Melalui simulasi didapatkan hasil berupa grafik perbandingan S_{11} dan VSWR seperti Gambar 3 dan Gambar 4 di bawah ini.

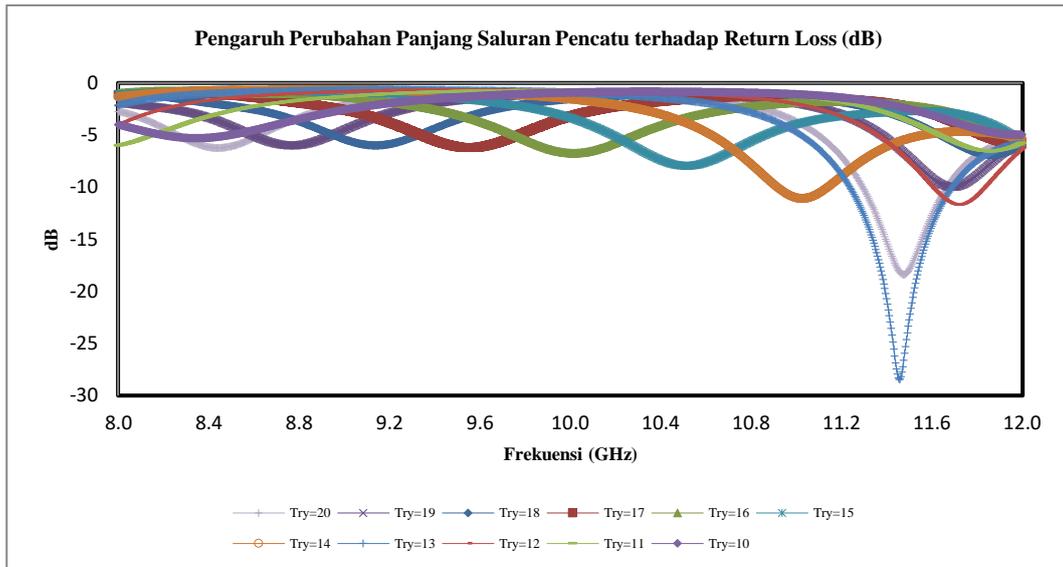


Gambar 3. Grafik perubahan *return loss* berdasarkan lebar *transmission line*

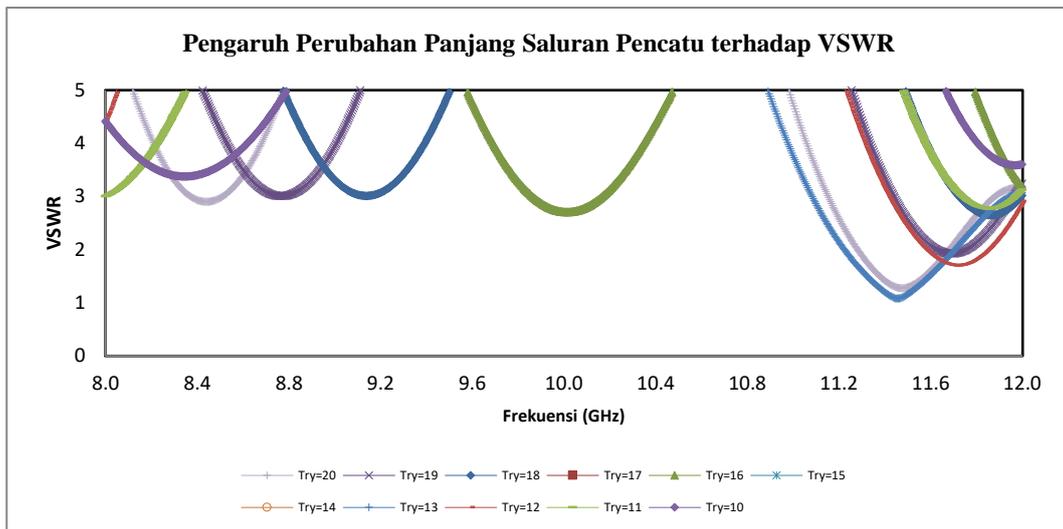


Gambar 4. Grafik perubahan VSWR berdasarkan lebar *transmission line*

Optimasi kedua dilakukan dengan mengubah ukuran dimensi dari panjang saluran pencatu terhadap *patch*. Optimasi ini dilakukan dengan rentang 20-10 mm dan perbedaan jarak untuk setiap perubahan sebesar 1 mm. Melalui simulasi didapatkan hasil berupa grafik perbandingan S_{11} dan VSWR seperti Gambar 5 dan Gambar 6 di bawah ini.

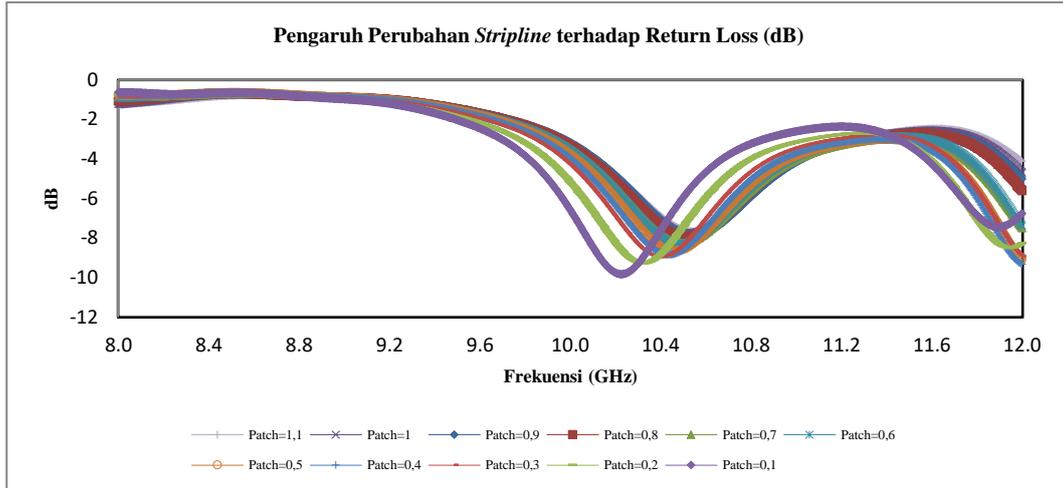


Gambar 5. Grafik perubahan *return loss* berdasarkan panjang *transmission line*

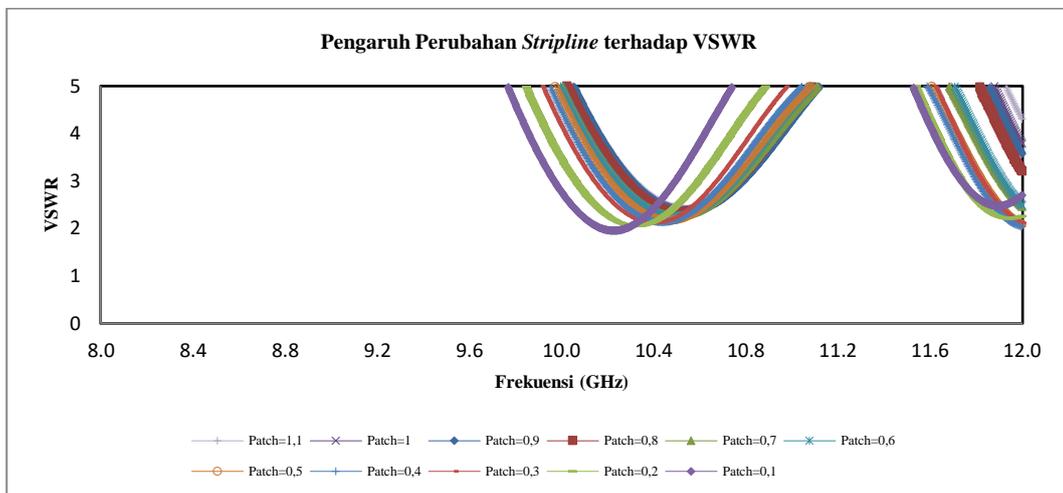


Gambar 6. Grafik perubahan VSWR berdasarkan panjang *transmission line*

Optimasi ketiga yaitu mengubah ukuran dimensi dari lebar *stripline biquad patch*. Perubahan dilakukan secara berkala dari 1,1 mm sampai 0,1 mm dengan perbedaan jarak 0,1 mm untuk setiap perubahannya. Melalui simulasi didapatkan hasil berupa grafik perbandingan S_{11} dan VSWR seperti Gambar 7 dan Gambar 8 di bawah ini.

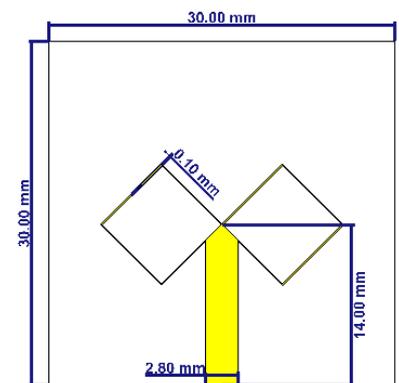


Gambar 7. Grafik perubahan *return loss* berdasarkan lebar *stripline patch*



Gambar 8. Grafik perubahan VSWR berdasarkan lebar *stripline patch*

Melalui data simulasi di atas diketahui bahwa setiap perubahan struktur antenna mikrostrip memiliki karakteristiknya masing-masing yang berpengaruh terhadap parameter uji S_{11} dan VSWR. Setelah melakukan optimasi untuk ketiga struktur tersebut, maka tahap optimasi akhir elemen tunggal dilakukan dengan mengkombinasikan setiap struktur yang memiliki nilai parameter uji mendekati atau memenuhi spesifikasi.

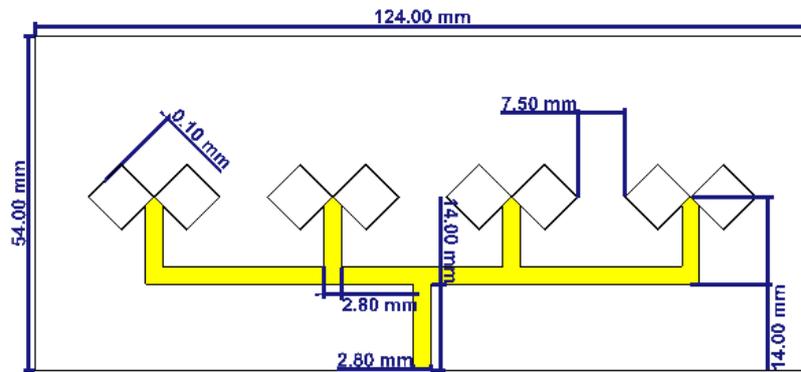


Gambar 9. Desain antenna mikrostrip elemen tunggal setelah optimasi

Gambar 9 merupakan rancangan akhir elemen tunggal yang memiliki hasil paling sesuai terhadap 3 parameter uji. Melalui simulasi didapatkan hasil S_{11} sebesar -20,622 dB dan VSWR sebesar 1,2053 dengan frekuensi tengah di 10,116 GHz, namun dengan *gain* sebesar 3,541 dBi. Dikarenakan nilai *gain* masih belum sesuai spesifikasi maka dilakukan perancangan antenna susun.

3.3 Hasil Simulasi Rancangan Antena Susun 4×1 Mikrostrip Biquad Patch

Pada rancangan ini, 4 elemen peradiasi (*patch*) disusun ke arah samping atau dengan pola *side by side*. Keempat elemen peradiasi tersebut dihubungkan melalui sebuah saluran pencatu berbentuk huruf T atau biasa disebut sebagai *T-Junction* dengan jarak antar elemen sebesar $\lambda/4$. Lebar dari saluran *T-Junction* ini diatur dengan konfigurasi 50Ω . Gambar 10 adalah rancangan dari antenna susun.

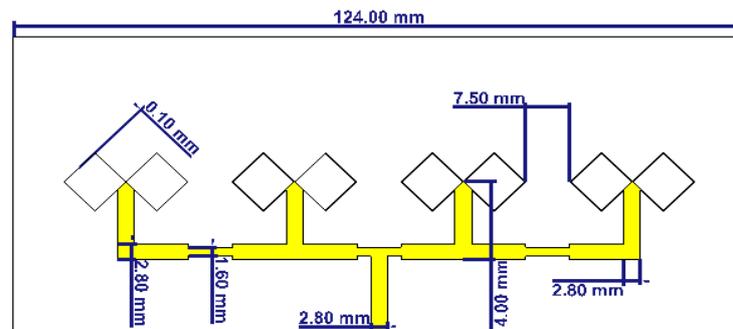


Gambar 10. Desain rancangan awal antenna susun 4x1 mikrostrip *biquad patch*

Melalui proses simulasi didapatkan hasil S_{11} sebesar -25,236 dB, VSWR sebesar 1,2053 dan *gain* sebesar 6,775 dBi yang bekerja dengan frekuensi tengah di 9,716 GHz. Berdasarkan data tersebut, parameter uji S_{11} , VSWR, dan *gain* sudah memenuhi spesifikasi namun terjadi pergeseran frekuensi akibat dari bertambahnya ukuran dimensi antenna. Maka dari itu dilakukan optimasi untuk rancangan antenna susun ini.

3.4 Hasil Optimasi Antena Susun 4×1 Mikrostrip Biquad Patch

Optimasi rancangan antenna susun dilakukan dengan mengubah impedansi dari lebar saluran *T-Junction* pada celah antara elemen peradiasi. Metode ini biasa disebut sebagai transformator $\lambda/4$ karena ada perubahan impedansi saluran dari 50Ω ke 70Ω sepanjang $\lambda/4$. Pada Gambar 11 berikut ini adalah rancangan dari optimasi antenna susun.

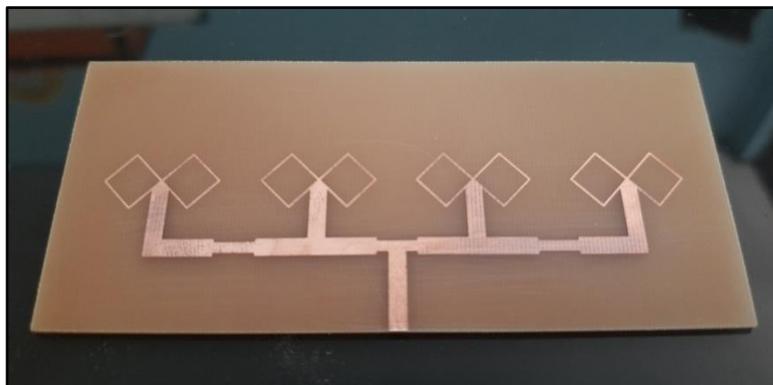


Gambar 11. Desain rancangan akhir antenna susun 4x1 mikrostrip *biquad patch*

Melalui proses simulasi didapatkan hasil S_{11} sebesar -23,315 dB, VSWR sebesar 1,1456 dan *gain* sebesar 8,109 dBi yang bekerja dengan frekuensi tengah di 10,012 GHz. Berdasarkan data tersebut, rancangan optimasi dari antenna susun ini telah memenuhi semua spesifikasi parameter uji. Maka dari itu rancangan ini yang digunakan sebagai dasar dari realisasi antenna.

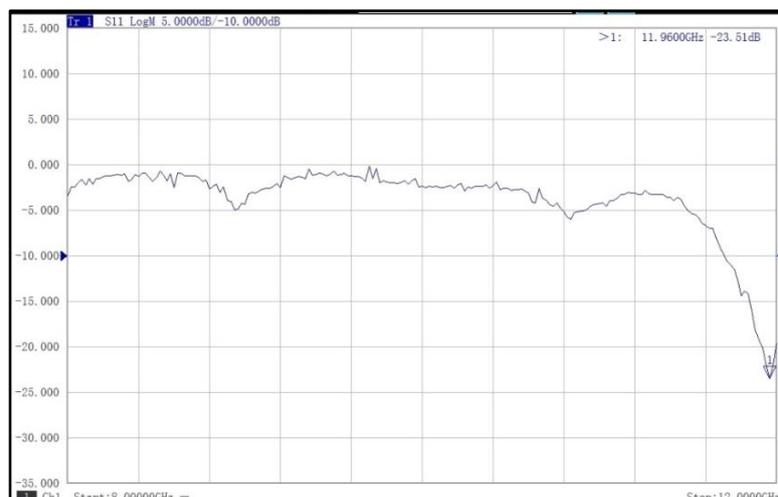
3.5 Realisasi dan Pengukuran Antena

Desain rancangan antenna diambil sesuai seperti rancangan akhir untuk antenna susun. *Prototype* dari antenna mikrostrip terdiri dari dua bagian, yaitu bagian depan yang merupakan elemen peradiasi atau *patch* dengan bahan tembaga yang telah di-*etching* di atas *substrate* melalui proses fabrikasi. Sementara bagian belakang merupakan *ground plane* yang dibuat menggunakan bahan tembaga dan memiliki ukuran yang sama seperti *substrate*. Gambar 12 merupakan tampilan dari antenna yang telah difabrikasi.

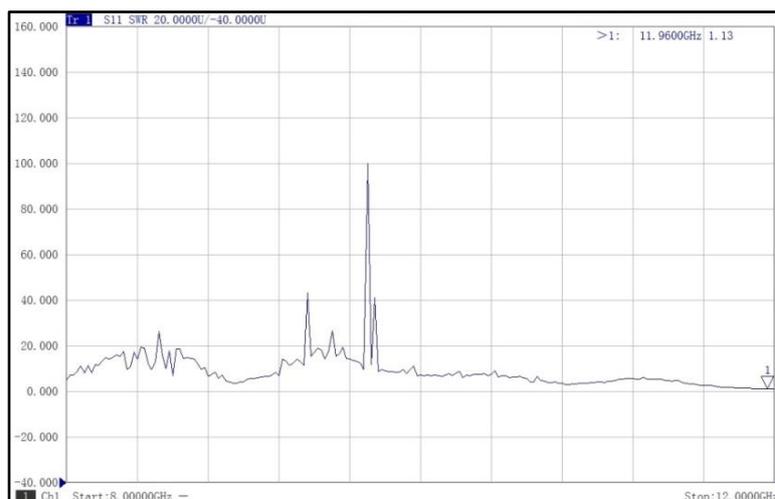


Gambar 12. *Prototype* antenna susun 4×1 mikrostrip *biquad patch*

Rancangan antenna mikrostrip yang telah direalisasikan kemudian dihubungkan dengan *connector* sebagai penghubung ke sumber catu. Selanjutnya pengujian terhadap rancangan dilakukan dengan menggunakan perangkat *Vector Network Analyzer* dengan parameter uji yang akan diukur berupa *return loss* dan VSWR. Didapatkan hasil pengukuran seperti pada Gambar 13 dan Gambar 14.



Gambar 13. Grafik pengukuran *return loss* antenna



Gambar 14. Grafik pengukuran VSWR antenna

3.6 Analisa Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran

Setelah dilakukan pengukuran parameter uji S_{11} dan VSWR dengan perangkat VNA, didapatkan perbandingan antara hasil simulasi dengan pengukuran pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Perbandingan hasil simulasi dengan pengukuran antenna

Parameteer	Simulasi	Pengukuran
S_{11}	-23,315 dB	-23,51 dB
VSWR	1,1456	1,13
Frekuensi tengah	10,012 GHz	11,96 GHz

Perbedaan nilai yang terjadi merupakan pengaruh beberapa faktor, yang pertama struktur antenna mikrostrip yang telah difabrikasi memiliki nilai yang tidak sama persis seperti pada simulasi. Pada proses simulasi, nilai dimensi antenna mikrostrip di-*input* hingga beberapa angka di belakang koma, sementara pada proses fabrikasi terjadi pembulatan nilai dimensi. Kemudian faktor nilai permitivitas bahan dielektrik yang tidak sesuai juga mempengaruhi hasil pengukuran antenna. Selain itu pada antenna yang telah difabrikasi terdapat kerusakan material berupa korosi pada bagian *patch* dan *ground plane* yang akan mengganggu proses radiasi. Kemudian pengukuran *return loss* dan VSWR dilakukan pada kondisi tempat yang mudah terpengaruh oleh *noise*.

Berdasarkan data tersebut, antenna mikrostrip yang telah difabrikasi sudah sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan sebelumnya. Terjadi pergeseran frekuensi pada pengukuran antenna yang telah difabrikasi, meski demikian antenna tersebut tetap dapat digunakan dalam rentang frekuensi *X-Band* (8-12 GHz). Sementara pengukuran *gain* antenna tidak dapat dilakukan karena keterbatasan alat ukur yang digunakan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data yang didapatkan, diketahui bahwa nilai performansi antenna yang telah difabrikasi memiliki peningkatan dari S_{11} sebesar -23,315 dB dan VSWR sebesar 1,1456 pada simulasi, berubah menjadi S_{11} -23,51 dB dan VSWR sebesar 1,13 pada pengukuran. Perbedaan nilai memang tidak begitu besar namun hal tersebut tetap menunjukkan peningkatan kualitas antenna. Dari data tersebut juga dapat dikatakan bahwa antenna mikrostrip yang telah difabrikasi telah memenuhi standar yang telah ditentukan. Terdapat pergeseran frekuensi resonansi yang cukup besar disebabkan keterbatasan pada proses pengukuran yang dilakukan. Karena kondisi pandemi,

pengukuran tidak memungkinkan untuk dilakukan di tempat lain. Meskipun terjadi pergeseran nilai frekuensi dari 10,012 GHz ke 11,96 GHz, namun rancangan akhir dari antenna susun 4×1 mikrostrip *biquad patch* ini dapat bekerja pada rentang frekuensi *X-Band* untuk telekomunikasi terestrial.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Siti Solecha, "Implementasi Telekomunikasi, Internet dan Teknologi Nirkabel pada PT ALDMIC Indonesia," Universitas Mercu Buana, Jakarta, 2020.
- [2] Widya Cahyadi and Ardiansyah , "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Meander-Line 915 MHz untuk Optimasi Jarak Pengiriman Data Alat Ukur pH Meter Sistem Telemetry," *Jurnal Rekayasa ElektriKa*, vol. 13, no. 2, pp. 94-102, 2017.
- [3] Catra Indra Cahyadi and I Gusti Agung Ayu Mas Oka, "Pengaruh Modifikasi Ground Plane pada Antena Mikrostrip dengan Teknik Meader Line," *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 19, pp. 33-48, Agustus 2021.
- [4] Folin Oktafiani and Yussi Perdana Saputera, "Antena Patch Array untuk Portable Coastal Radar pada Frekuensi S-Band," *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, vol. 13, no. 1, pp. 18-22, 2013.
- [5] Hanny Madiawati and Joko Suryana, "Desain dan Implementasi Antena Mikrostrip VSAT Bergerak pada Frekuensi Downlink Ku Band," *Jurnal ELKOMIKA*, vol. 4, no. 2, p. 160, 2016.
- [6] Suryo Sasono, Heroe Wijanto, and Yuyu Wahyu, "Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip pada Frekuensi K-Band untuk Radar Otomotif," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 6, no. 2, pp. 4528-4538, 2016.
- [7] Dwi Fadila Kurniawan, Rudy Yuwono, and Putu Agus, "Antena Biquad untuk WLAN 2,4 GHz," *Jurnal EEIICS*, vol. 4, no. 2, pp. 51-56, 2010.
- [8] Imam Muaffiq, Heroe Wijanto, and Yuyu Wahyu, "Perancangan dan Realisasi Antena Dipol Silang UHF dengan Reflektor Planar Horisontal untuk Penerima TV Digital DVB-T2," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 537-543, 2016.
- [9] Budi Irawan, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Biquad untuk WLAN 2,4 GHz dengan Pencatuan Proximity Coupled," *Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro*, vol. 01, pp. 33-40, 2017.
- [10] Fadilah Ana Dhofati, "Analisa Dimensi Antena Microstrip Patch Lingkaran Front Parasitic Substrate untuk Roke Uji Muatan pada Frekuensi 430-438 MHz," Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, 2020.