

Modifikasi Antena Mikrostrip Berbasis *Defected Ground Structure* (DGS) Berbentuk *Patch Puzzle* untuk Aplikasi Sub-6 GHz 5G

Modified Microstrip Antenna Based on Defected Ground Structure (DGS) in the Shape of a Patch Puzzle for Sub-6 GHz 5G Application

Yosy Rahmawati^{*1}, Petrus Kerowe Goran², Vira Ulitama³

^{1,3}*Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana
Jakarta Barat, DKI Jakarta, Indonesia 11650*

²*Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Telekomunikasi Elektro, Institut Teknologi Telkom Purwokerto
Purwokerto, Jawa Tengah, Indonesia 53147*

^{*1}Corresponding author: yosy.rahmawati@mercubuana.ac.id
²petrus@ittelkom-pwt.ac.id, ³viraulitama1998@gmail.com

Received on 31-05-2023, accepted on 19-06-2023, published on 21-07-2023

Abstrak

Perkembangan jaringan seluler 5G digelar secara bertahap hingga tersebar di seluruh wilayah Indonesia dengan menawarkan layanan internet lebih baik dari generasi sebelumnya. Dalam penerapan teknologi seluler dibutuhkan sebuah antena untuk dapat memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan modifikasi antena mikrostrip yang diaplikasikan pada Sub-6 GHz 5G dengan frekuensi kerja 3,5 GHz sesuai pita frekuensi n77 menurut 3GPP yaitu pada rentang frekuensi 3,3-4,2 GHz dengan *bandwidth* yang dihasilkan minimal 100 MHz. Untuk meningkatkan *gain* dan *bandwidth* antena mikrostrip, maka diterapkan teknik *Defected Ground Structure* (DGS) berbentuk *patch puzzle* melalui sketsa bentuk sederhana pada bidang *ground plane* berbentuk U. Berdasarkan simulasi dihasilkan *return loss* -39,171 dB, VSWR 1,022, *gain* 2,452 dB, *bandwidth* 243,8 MHz dengan pola radiasi bidireksional, sedangkan pengukuran dihasilkan *return loss* -21,931 dB, VSWR 1,187, *gain* 2,369, *bandwidth* 132,1755 MHz dan pola radiasi bidireksional dengan substrat FR-4 epoxy. Dapat disimpulkan antena mikrostrip *patch puzzle* dapat bekerja baik pada frekuensi 3,5 GHz untuk teknologi Sub-6 GHz 5G karena memenuhi spesifikasi dalam perancangan antena yaitu *return loss* ≤ -10 dB, VSWR $\leq 1,5$, *gain* ≥ 2 dB dan *bandwidth* ≥ 100 MHz.

Kata kunci: *bandwidth*, DGS, *gain*, *patch puzzle*, *return loss*, VSWR

Abstract

The development of 5G cellular network is deployed gradually in order to cover Indonesia entirely and provides better internet services than the 4G network. When using cellular technology, an antenna is needed to transmit and receive electromagnetic waves. Therefore, a modification of the microstrip antenna used for Sub-6 GHz 5G with a working frequency of 3.5 GHz in the 3GPP n77 frequency band, in the frequency range 3.3-4.2 GHz with the resulting bandwidth of 100 MHz, was carried out in this study. The researcher applied the Defected Ground Structure (DGS) technique in the form of a patch puzzle by sketching simple shapes on a U-shaped ground plane to increase gain and bandwidth. The simulation produced a return loss of -39.171 dB, VSWR of 1.022, gain of 2.452 dB, bandwidth of 243.8 MHz, and a bidirectional radiation pattern, The simulation produced a return loss of -39.171 dB, VSWR of 1.022, gain of 2.452 dB, bandwidth of 243.8 MHz, and a bidirectional radiation pattern, and the measurements produced a return loss of -21.931 dB, VSWR of 1.187, gain of 2.369, bandwidth of 132.1755 MHz,

and a bidirectional radiation pattern with the substrate FR-4 epoxy. The conclusion was that the microstrip patch puzzle antenna performed well at the frequency of 3.5 GHz for Sub-6 GHz 5G technology because of its proper specification for antenna design, namely return loss ≤ -10 dB, VSWR ≤ 1.5 , gain ≥ 2 dB, and bandwidth ≥ 100 MHz.

Keywords: *bandwidth, DGS, gain, patch puzzle, return loss, VSWR*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi seluler nirkabel telah sampai generasi ke-5 (5G) yang menawarkan kecepatan transfer data dan konektivitas handal. Komunikasi nirkabel didominasi oleh transmisi digital, tidak hanya untuk interaksi manusia tetapi juga untuk transmisi data yang membutuhkan data dalam jumlah besar [1]. Teknologi 5G hadir untuk meningkatkan efisiensi dan kapasitas jaringan seluler, peningkatan data rate dengan cakupan yang lebih luas dan konsumsi daya yang lebih rendah [2]. Menurut 3GPP Rel-15 alokasi frekuensi 5G dibedakan menjadi FR1 atau Sub-6 GHz rentang 450-6000 MHz dan FR2 atau milimeter wave rentang 24250-52600 MHz [3]. Namun, untuk frekuensi 3,5 GHz cakupannya sudah sangat luas banyak diterima di sebagian besar negara. Untuk itu diperlukan jaringan komunikasi yang handal khususnya di frekuensi 3,5 GHz untuk diaplikasikan pada Sub-6 GHz 5G.

Komunikasi seluler nirkabel 5G yang didefinisikan dalam IMT-2020 dan ITU-R M.208 [4] menjanjikan transmisi data berkecepatan tinggi dari 1 GBps hingga 20 GBps. Kecepatan data tersebut dapat dicapai dengan beberapa teknik, seperti teknik modulasi atau bandwidth lebar [5]. Salah satu komponen penting dalam sistem telekomunikasi nirkabel yaitu antena yang dapat memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik. Untuk mencapainya, maka diperlukan antena yang memiliki karakteristik gain yang besar dan bandwidth yang lebar minimal 100 MHz. Salah satu bentuk antena yang mudah diintegrasikan dengan perangkat telekomunikasi Sub-6 GHz 5G yaitu antena mikrostrip, karena memiliki bobot yang ringan, dan biaya fabrikasi yang murah.

Penelitian terkait antena sudah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya, terutama antena mikrostrip untuk sistem komunikasi 5G, seperti penelitian [6] tahun 2021, dilakukan perancangan antena mikrostrip fractal minkowski array pada frekuensi 3,5 GHz untuk mengurangi dimensi antena dan meningkatkan gain. Lalu, penelitian [7] Paragya dkk merancang antena mikrostrip berbentuk rectangular patch berbasis Defected Ground Structure (DGS) dan proximity coupled pada frekuensi 3,5 GHz mengatasi bandwidth yang sempit. Kemudian, tahun 2020 dilakukan perancangan antena mikrostrip dengan Slotted Ground Plane berbentuk T slot dan DGS berbentuk C slot untuk Sub-6 GHz cocok untuk frekuensi 4,8-5 GHz [8].

Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan pengembangan dari penelitian sebelumnya [9] dengan menerapkan metode Defected Ground Structure (DGS) melalui sketsa sederhana pada bidang ground plane untuk menangani gain yang kecil dan bandwidth yang sempit pada antena mikrostrip. Modifikasi dilakukan pada antena mikrostrip patch puzzle yang bekerja pada frekuensi 3,5 GHz menggunakan metode DGS berbentuk U slot yang diimplementasikan pada Sub-6 GHz 5G, diharapkan bandwidth yang dihasilkan 100 MHz, gain ≥ 2 dB, return loss ≤ -10 dB dan VSWR $\leq 1,5$ sehingga meningkatkan performa jaringan seluler 5G pada layanan internet berkecepatan tinggi.

II. LANDASAN TEORI

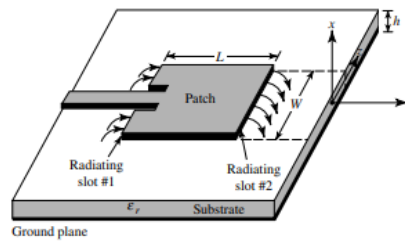
A. Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan konduktor logam yang mengandung bahan dielektrik dan memiliki massa ringan menempel di atas *ground plane*. Kelebihan antena ini mudah difabrikasi, memiliki sifat konformal sehingga dapat ditempatkan hampir di semua permukaan, dan ukurannya kecil dibandingkan antena jenis lain. Namun, antena mikrostrip juga memiliki beberapa kekurangan yaitu *bandwidth* yang sempit, *gain* dan *directivity* yang kecil, serta efisiensi rendah [10].

B. Struktur Dasar Antena Mikrostrip

Struktur dasar antena mikrostrip yaitu *patch*, *substart*, dan *ground plane*. Lapisan konduktor atas atau *patch* berfungsi sebagai sumber radiasi dimana energi elektromagnetik menyusur tepian dari sisi *patch* ke

dalam substrat. Lapisan bawah bertindak sebagai bidang *ground* pemantulan sempurna, mengembalikan energi melalui substrat menuju udara bebas, dan substrat berfungsi sebagai media penyalur gelombang elektromagnetik dari sistem pencatuan. Struktur dasar antenna mikrostrip ditunjukkan pada Gambar 1 [10].



Gambar 1. Struktur Dasar Antena Mikrostrip [10]

C. Defected Ground Structure (DGS)

Defected Ground Structure (DGS) merupakan pola tersketsa pada bidang *ground plane*, biasanya digunakan untuk meningkatkan *gain* dan *bandwidth* antenna. DGS pada umumnya diaplikasikan pada rangkaian filter dalam *microstrip line* yang menolak frekuensi tertentu atau *bandgap*, tetapi juga dapat digunakan pada antenna mikrostrip, khususnya antenna *array*. Terdapat dua perubahan *ground* yang dapat digunakan yaitu pemotongan *ground* secara vertikal dan pemotongan *ground* secara horizontal.

III. METODE PENELITIAN

A. Perancangan Antena Mikrostrip Patch Puzzle

Dalam merancang sebuah antenna mikrostrip terlebih dahulu dilakukan perhitungan dimensi antenna untuk mendapatkan ukuran antenna sesuai dengan frekuensi kerjanya. Lalu, dilanjutkan melakukan perancangan antenna menggunakan perangkat lunak CST 2021 dan mensimulasikan parameter-parameter antenna seperti *return loss*, VSWR, pola radiasi, *bandwidth*, dan *gain*. Selain itu, dalam merancang antenna mikrostrip, penting untuk menentukan spesifikasi dan penentuan material dari antenna yang akan dirancang karena akan berpengaruh terhadap perhitungan dimensi yang diinginkan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Spesifikasi dan Material Antena Mikrostrip Patch Puzzle

Spesifikasi	Keterangan	
Antena Mikrostrip <i>Patch Puzzle</i>	Frekuensi Kerja	: 3,5 GHz
	<i>Return Loss</i>	: ≤ -10 dB
	VSWR	: $\leq 1,5$
	Pola Radiasi	: <i>Bidirectional</i>
	<i>Bandwidth</i>	: ≥ 100 MHz
	<i>Gain</i>	: ≥ 2 dBi
PCB FR-4 Epoxy	Konstanta Dielektrik Relative	: 4,4
	Ketebalan Substrat	: 1,6 mm
	Ketebalan Konduktor	: 0,1 mm
	Bahan Konduktor	: Copper (<i>Annealed</i>)
	Impedansi Saluran	: 50 Ω

Dalam merancang antenna mikrostrip berbentuk patch persegi panjang, dilakukan perhitungan dimensi antenna sebagai berikut [10] :

1. Perhitungan Panjang Gelombang

Sebelum merancang antenna, terlebih dahulu menentukan frekuensi kerja yang digunakan yaitu 3,5 GHz. Frekuensi kerja tersebut digunakan untuk menghitung panjang gelombang pada ruang bebas dan pada saluran transmisi. Untuk menghitung panjang gelombang pada saluran transmisi, dapat menggunakan Persamaan (1) di bawah ini.

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_r} \tag{1}$$

$$\lambda_0 = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{3,5 \times 10^9 \text{ Hz}} = 85,714 \text{ mm}$$

Dari Persamaan (1) dapat dihitung nilai λ_0 untuk frekuensi 3,5 GHz, setelah mendapatkan nilai λ_0 , selanjutnya dilakukan perhitungan terhadap dimensi elemen peradiasi antenna atau *patch* antenna yang terdiri dari lebar *patch* dan panjang *patch rectangular*.

2. Menentukan Ukuran Patch Puzzle

Untuk menentukan lebar dan panjang *patch puzzle* menggunakan konstanta dielektrik relatif 4,4 dan ketebalan substrat 1,6 mm. Persamaan (2) digunakan untuk menghitung lebar *patch* (W) dan Persamaan (3-5) digunakan untuk menghitung panjang *patch* (L), berikut penjelasannya.

- a. Menentukan lebar *patch rectangular* (W), Persamaan (2)

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

$$W = \frac{3 \times 10^8 \text{ m}}{2 \times 3,5 \times 10^9 \text{ Hz}} \sqrt{\frac{2}{4,4 + 1}} = 25,84 \text{ mm}$$

- b. Menentukan panjang *patch rectangular*, Persamaan (3-5). Diawali menghitung konstanta dielektrik efektif menggunakan Persamaan (3).

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left(\frac{h}{W} \right)}} \right) \tag{3}$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{4,4 + 1}{2} + \frac{4,4 - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left(\frac{1,6 \text{ mm}}{25,84 \text{ mm}} \right)}} \right) = 3,9876 \text{ mm}$$

Untuk menghitung panjang *patch* efektif menggunakan Persamaan (4)

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} \tag{4}$$

$$L_{eff} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2 \times 3,5 \times 10^9 \text{ Hz} \sqrt{3,9876 \text{ mm}}} = 21,4618 \text{ mm}$$

Untuk menghitung tambahan panjang *patch* menggunakan Persamaan (5)

$$\Delta L = 0,412h \frac{(\epsilon_{eff} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)} \tag{5}$$

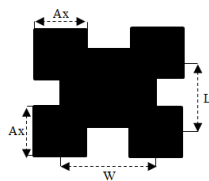
$$\Delta L = 0,412 \times 1,6 \text{ mm} \frac{(3,9876 \text{ mm} + 0,3) \left(\frac{25,84 \text{ mm}}{1,6 \text{ mm}} + 0,264 \right)}{(3,9876 \text{ mm} - 0,258) \left(\frac{25,84 \text{ mm}}{1,6 \text{ mm}} + 0,8 \right)} = 0,7338 \text{ mm}$$

Untuk menghitung panjang *patch rectangular* menggunakan Persamaan (6)

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \tag{6}$$

$$L = 21,4618 \text{ mm} - 2(0,7338 \text{ mm}) = 19,994 \text{ mm}$$

- c. Dari formula panjang *patch rectangular* (L) dan lebar *patch rectangular* (W) dapat ditentukan ukuran *patch puzzle* seperti Gambar 2 dengan menggunakan persamaan (7).



Gambar 2. Desain Patch Puzzle

$$A_x = L - \frac{1}{3}L \quad (7)$$

$$A_x = 19,994mm - \frac{1}{3}(19,994mm) = 13,3293 mm$$

3. Menentukan Lebar Saluran Transmisi Antena

Pada saluran transmisi, lebar dari saluran transmisi pada mikrostrip harus sesuai dalam kondisi *matching impedance*. Ketika pengukuran, saluran pencatu antena mikrostrip akan dihubungkan dengan konektor **50 Ω**, sehingga impedansi saluran transmisi yang digunakan yaitu sebesar **50 Ω**. Untuk menentukan panjang dan lebar pencatu antena mikrostrip, menggunakan Persamaan (8-10).

$$Z_0 = 2 \times Z_L \quad (8)$$

$$Z_0 = 2 \times 50 \Omega = 100 \Omega$$

$$WZ_0 = \frac{377}{\sqrt{\epsilon_r}} (h/Z_0) \quad (9)$$

$$WZ_0 = \frac{377}{\sqrt{4,4}} (1,6 mm/100 \Omega) = 2,87 mm$$

Setelah didapatkan lebar saluran transmisi, selanjutnya menentukan panjang pencatu menggunakan Persamaan (10) di bawah ini.

$$L_0 = \frac{\lambda_0}{4} \quad (10)$$

$$L_0 = \frac{\lambda_0}{4} = \frac{85,714 mm}{4} = 21,4285 mm$$

4. Menentukan Panjang dan Lebar Substrat Antena

Untuk menentukan panjang dan lebar substrat antena digunakan total dari perhitungan elemen antena yang sudah dihitung. Berikut merupakan perhitungan untuk panjang dan lebar substrat :

Panjang substrat (L_g), Persamaan (11) :

$$L_g = 6(A_x) + L \quad (11)$$

$$L_g = 6(13,3293 mm) + 19,994 mm = 59,9816 mm$$

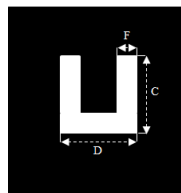
Lebar substrat (W_g), Persamaan (12) :

$$W_g = 6(A_x) + W \quad (12)$$

$$W_g = 6(13,3293 mm) + 25,84 mm = 65,8276 mm$$

5. Menentukan Parameter Defected Ground Structur (DGS)

Bentuk DGS ditunjukkan pada Gambar 3 yang didesain berbentuk slot U, perhitungan DGS slot U menggunakan Persamaan (13-15).



Gambar 3. Desain DGS Antena Mikrostrip Patch Puzzle

$$F = \frac{\lambda}{60} = \frac{C}{f \times 60} \quad (13)$$

$$F = \frac{3 \times 10^8 m/s}{3,5 \times 10^9 Hz \times 60} = 1,4285 mm \quad (14)$$

$$D = \frac{C}{f \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2(L + \Delta L - F) \rightarrow C \geq 0,3 W$$

$$C \geq 0,3 \times 25,84 mm = 7,752 mm$$

$$D = \frac{3 \times 10^8 m/s}{3,5 \times 10^9 Hz \times \sqrt{3,9876}} - 2(19,994 mm + 0,7338 mm - 1,4285 mm) = 4,3251 mm$$

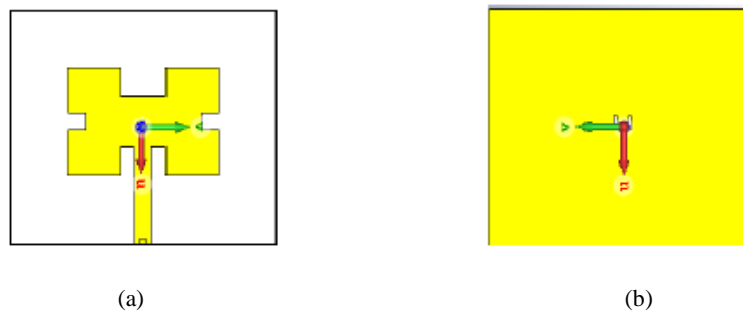
Perancangan antenna mikrostrip patch puzzle merupakan pengembangan dari patch rectangular, dengan menggunakan persamaan (1) sampai (14) didapatkan ukuran dimensi antenna seperti ditunjukkan pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Parameter Antena Mikrostrip *Patch Puzzle*

Parameter	Nilai (mm)
Lebar <i>patch</i> (W)	25,84
Panjang <i>patch</i> (L)	19,994
Sisi samping <i>patch</i> (A_x)	13,3293
Lebar <i>feedline</i> (W_f)	2,87
Panjang <i>feedline</i> (L_f)	21,4285
Lebar <i>ground</i> (W_g)	50
Panjang <i>ground</i> (L_g)	47
Tebal substrat (T_s)	1,6
Tebal <i>ground</i> dan <i>patch</i> (T_g)	0,1

B. Simulasi Antena Menggunakan Software CST Microwave Studio 2021

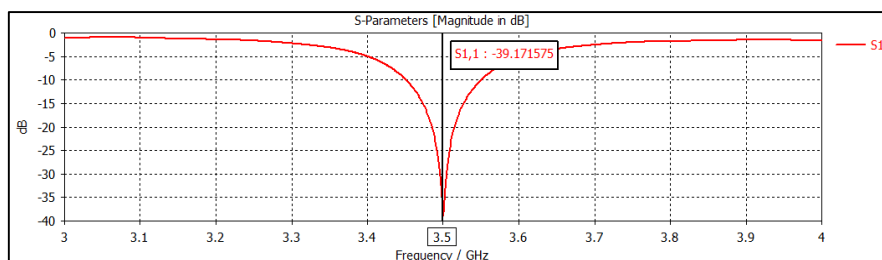
Setelah dilakukannya perancangannya antenna mikrostrip *patch puzzle*, dilanjutkan mensimulasikan antenna tersebut menggunakan perangkat lunak CST Microwave Studio 2021 untuk mengetahui perfomansi kerja dari antenna tersebut. Parameter yang dianalisa di antaranya *return loss*; perbandingan antara amplitudo gelombang yang dipantulkan dengan yang dikirimkan, VSWR; perbandingan gelombang datang dengan gelombang pantul di mana kedua gelombang tersebut membentuk gelombang berdiri, *bandwidth*; lebar pita, *gain*, pola radiasi, dan *beamwidth*; lebar sudut *beam* pada *main lobe* saat level setengah daya. Bentuk rancangan antenna mikrostrip pada perangkat lunask CST 2021 dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. (a) Rancangan Antena Mikrostrip *Patch Puzzle* Tampak Depan
 (b) Rancangan Antena Mikrostrip *Patch Puzzle* Tampak Belakang

1. Return loss

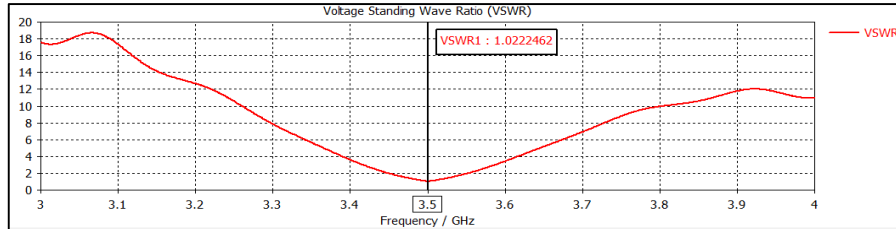
Return loss berfungsi untuk menunjukkan daya yang hilang karena antara antenna dan saluran transmisi tidak matching. Nilai *return loss* yang didapatkan setelah menggunakan teknik DGS berbentuk U slot diperlihatkan pada Gambar 5. Nilai *return loss* yang didapatkan setelah melakukan optimasi yaitu -39,171575 dB pada frekuensi kerja 3,5 GHz.



Gambar 5. Hasil Simulasi *Return Loss*

2. VSWR

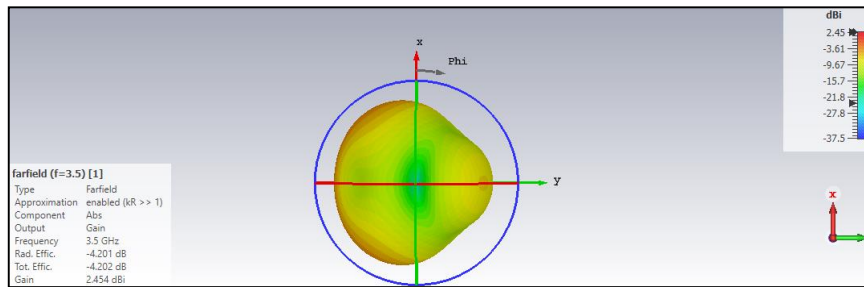
VSWR menunjukkan tingkat ketidaksesuaian antara beban dan saluran transmisi pada antenna. Nilai VSWR yang didapatkan setelah melakukan optimasi diperlihatkan pada Gambar 6. Nilai VSWR yang didapatkan setelah melakukan optimasi yaitu 1,0222462 pada frekuensi kerja 3,5 GHz.



Gambar 6. Hasil Simulasi VSWR

3. Gain

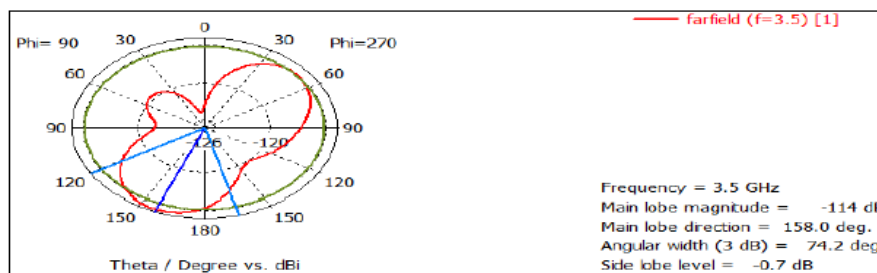
Nilai *gain* yang didapatkan setelah melakukan optimasi yaitu 2,454 dB pada frekuensi kerja 3,5 GHz yang ditunjukkan pada Gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7. Hasil Simulasi Gain

4. Pola Radiasi

Pada Gambar 8 memperlihatkan bentuk pola radiasi antenna mikrostrip *patch puzzle* menggunakan DGS berbentuk U slot yaitu bidireksional, hal ini dibuktikan dengan arah radiasi yang menuju dua arah.

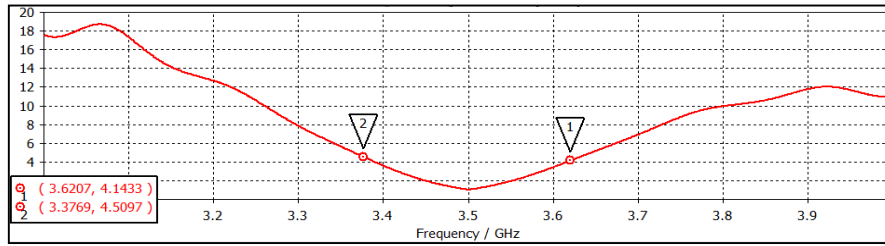


Gambar 8. Hasil Simulasi Pola Radiasi

5. Bandwidth

Pada Gambar 9 menunjukkan *bandwidth* yang dihasilkan sebesar 243,8 MHz sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan yaitu besar 100 MHz. Nilai *bandwidth* didapatkan melalui Persamaan (15) di bawah ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Bandwidth (BW)} &= f_h - f_l & (15) \\
 \text{Bandwidth (BW)} &= f_h - f_l \\
 &= 3,6207 - 3,3769 \text{ GHz} \\
 &= 0,2438 \text{ GHz} = 243,8 \text{ MHz}
 \end{aligned}$$



Gambar 9. Hasil Simulasi Bandwidth

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

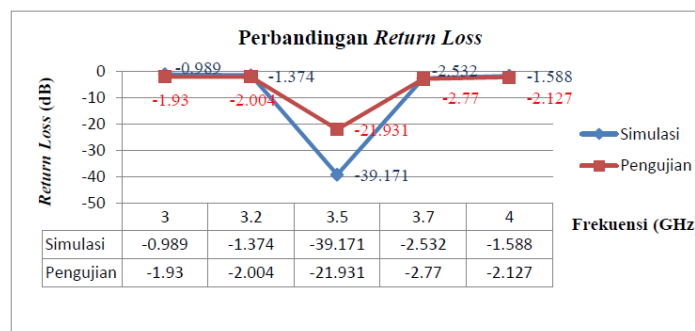
A. Pengukuran Medan Dekat Antena

Pengukuran dilakukan untuk mengetahui performa antena mikrostrip *patch puzzle* yang beroperasi di frekuensi 3,5 GHz dari parameter *return loss* dan VSWR menggunakan perangkat keras *Vector Network Analyzer* (VNA). Berikut Tabel 2 perbandingan *return loss*, VSWR dan *bandwidth* berdasarkan spesifikasi, simulasi dan pengukuran.

Tabel 2. Perbandingan Return Loss dan VSWR

Parameter	Spesifikasi	Simulasi	Pengukuran
Return Loss	≤ -10 dB	-39,171 dB	-21,931 dB
VSWR	$\leq 1,5$	1,022	1,187
Bandwidth	100 MHz	243,8 MHz	132,1755 MHz

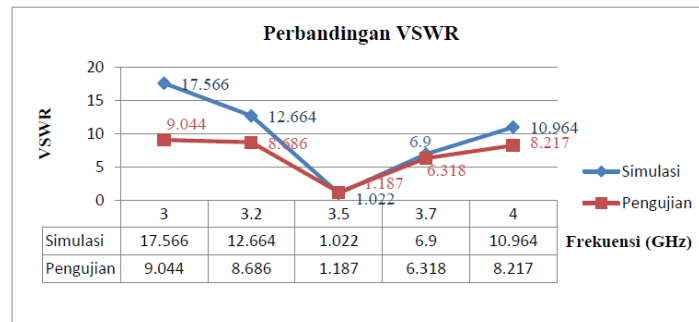
Hasil simulasi menghasilkan *return loss* -39,171 dB, dan pengukuran menghasilkan *return loss* sebesar -21,931 dB, nilai tersebut sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan yaitu *return loss* ≤ -10 dB, artinya antena mampu meradiasikan gelombang elektromagnetik lebih besar dibandingkan gelombang yang terpantul. Lalu, hasil simulasi VSWR menghasilkan nilai 1,022, dan pengukuran VSWR menghasilkan nilai 1,187, nilai tersebut sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan yaitu VSWR $\leq 1,5$, artinya impedansi input pada antena *patch puzzle* memenuhi *impedance matching*, dikarenakan nilai VSWR yang hampir mendekati 1 dan nilai *return loss* kurang dari -10 dB. Kemudian, dengan frekuensi atas 3,6207 GHz dan frekuensi bawah 3,3769 GHz, pada simulasi didapatkan *bandwidth* 243,8 MHz dan pengukuran dapat dihitung *bandwidth* antena mikrostrip *patch puzzle* sebesar 132,1755 MHz. Simulasi dan pengukuran *bandwidth* sudah sesuai dengan spesifikasi anten Sub-6 GHz 5G yaitu minimal 100 MHz. Grafik perbandingan *return loss* simulasi dan pengukuran dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Perbandingan Return Loss Simulasi dan Pengukuran

Berdasarkan Gambar 10 di atas, menunjukkan simulasi menghasilkan *return loss* yang lebih bagus dibandingkan pengukuran. Hal tersebut dipengaruhi oleh faktor internal meliputi bahan pembuatan antena yang tidak memenuhi spesifikasi yang diinginkan, kualitas tembaga pada PCB, dan ukuran fabrikasi antena yang kurang presisi. Sedangkan faktor eksternal meliputi pengaruh lingkungan pengukuran, korosi

material, dan penyambungan antara elemen dengan konektor yang kurang sempurna. Perbandingan VSWR simulasi dan pengukuran dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Perbandingan VSWR Simulasi dan Pengukuran

B. Pengukuran Pola Radiasi dan Gain

Hasil pengukuran pola radiasi antenna mikrostrip *patch puzzle* yaitu bidireksional dengan arah radiasi menuju dua arah. Pengukuran *gain* dilakukan menggunakan metode perbandingan, yaitu membandingkan level sinyal antenna *horn* sebagai pemancar dan antenna mikrostrip *patch puzzle* sebagai penerima dengan antenna mikrostrip *patch puzzle* sebagai pemancar dan antenna *horn* sebagai penerima. Antena referensi berupa antenna *horn* memiliki *gain* sebesar 11 dBi. Hasil pengujian *gain* didapatkan *power level* antenna referensi sebesar -28,78 dBi dan hasil pengujian antenna mikrostrip *patch puzzle* sebesar -37,411 dBi, sehingga dapat dihitung besar *gain* menggunakan Persamaan (16) sebagai berikut :

$$G_{AUT} = P_{AUT} - P_{REF} + P_{REF} \tag{16}$$

$$G_{AUT} = -37,411 \text{ dB} - (-28,78 \text{ dB}) + 11 \text{ dB}$$

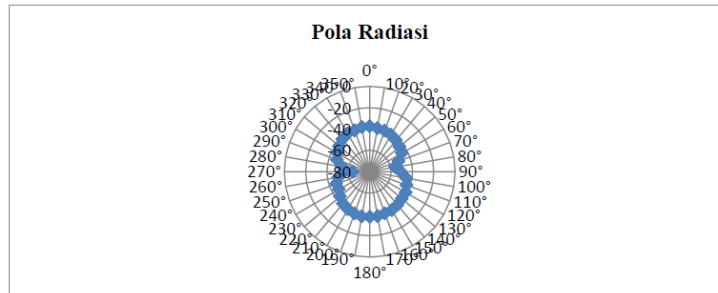
$$G_{AUT} = 2,369 \text{ dBi}$$

Tabel 3 menunjukkan perbandingan pola radiasi dan *gain* saat simulasi dan pengujian. Terdapat perbedaan *gain* yang dihasilkan antara simulasi dan pengukuran. Hal ini dapat terjadi dikarenakan kondisi dari tempat pengujian yang belum ideal, yaitu tidak berada pada ruangan yang tertutup dan hampa udara serta tempat pengujian memungkinkan adanya sinyal pantul yang dihasilkan oleh benda-benda dalam ruangan tersebut ataupun oleh manusia yang berada di dalam ruangan, sedangkan kondisi pada perancangan dengan *software* diasumsikan berada pada tempat yang ideal, yaitu ruangan bebas dari pantulan sehingga sinyal dapat secara maksimum diterima tanpa adanya gangguan dari sinyal yang tidak diinginkan.

Tabel 3. Perbandingan Pola Radiasi dan Gain

Parameter	Spesifikasi	Simulasi	Pengukuran
Pola Radiasi	Bidireksional	Bidireksional	Bidireksional
Gain	≥ 2	2,454 dBi	2,369 dBi

Pengukuran pola radiasi dilakukan untuk mengetahui bentuk pancaran antenna dan perbandingan kuat pancaran antenna mikrostrip *patch puzzle* dengan antenna referensi. Pengukuran dilakukan dengan mengukur level sinyal dengan melakukan pemutaran antenna setiap 10° yang dimulai dari titik 0° sampai dengan 350° digunakan untuk mendapatkan bentuk pola radiasi antenna. Hasil dari pengukuran level sinyal yang dilakukan setiap 10° dapat dilihat pada Gambar 12 di bawah ini.



Gambar 12. Pengukuran level sinyal

V. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan, simulasi, dan pengukuran antenna mikrostrip *patch puzzle*, didapatkan kesimpulan dari penelitian ini yaitu (a) simulasi rancangan antenna mikrostrip *patch puzzle* menggunakan metode *Defected Ground Structure* (DGS) menghasilkan *return loss* -39,171 dB, *VSWR* 1,022, *bandwidth* 243,8 MHz, pola radiasi bidireksional, dan *gain* 2,454 dB; (b) pengukuran antenna mikrostrip *patch puzzle* pada frekuensi 3,5 GHz menggunakan metode DGS menghasilkan *return loss* -21,931 dB, *VSWR* 1,1803, *bandwidth* 132,1755 MHz, pola radiasi bidireksional, dan *gain* 2,369 dB; dan (c) perbedaan hasil simulasi dan pengukuran dapat disebabkan oleh kualitas bahan PCB yang kurang bagus, ukuran antenna fabrikasi kurang presisi, kondisi tempat pengukuran yang kurang ideal, korosi material dan penyolderan antara elemen dengan konektor yang kurang sempurna. Namun, pengukuran antenna *patch puzzle* telah memverifikasi hasil simulasi sehingga dapat diimplementasikan untuk aplikasi Sub-6 GHz 5G.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Qiu, B. Chen, A. K. Sangaiah, J. Ma, R. Huang, "A Survey of Mobile Social Networks: Applications, Social Characteristics, and Challenges," *IEEE Syst J*, vol. 12, no. 4, pp. 3932–3947, Dec. 2018.
- [2] R. N. Mitra, D. P. Agrawal, "5G mobile technology: A survey," *ICT Express*, vol. 1, no. 3, pp. 132–137, 2015.
- [3] ITU PITA Workshop on Mobile Network Planning and Security, "5G Network and 3GPP Release 15," *International Telecommunication Union (ITU) and the Pacific Islands Telecommunications Association (PITA)*, Aug. 15, 2017. <https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/AsiaPacific/Pages/Events/2019/ITUPITA2018/ITU-ASP-CoE-Training-on-.aspx> (accessed Jun. 06, 2023).
- [4] Rec. ITU-R M.2083-0, "IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond," 2015.
- [5] A. Firdausi, L. Damayanti, G. P. N. Hakim, Umairah, M. Alaydrus, "Design of A Dual-Band Microstrip Antenna for 5G Communication," *Journal of Integrated and Advanced Engineering (JIAE)*, vol. 1, no. 1, pp. 65–72, 2021.
- [6] R. Syafira, S. Alam, I. Surjati, "Design of Minkowski Array Microstrip Fractal Antenna at 3.5 GHz Frequency for 5G Communication System," *ECOTIPE*, vol. 8, no. 2, pp. 93–99, Oct. 2021.
- [7] D. Paragya, H. Siswono, "3.5 GHz Rectangular Patch Microstrip Antenna with Defected Ground Structure for 5G," *ELKOMIKA*, vol. 8, no. 1, pp. 31–42, Jan. 2020.
- [8] T. O. Olawoye, P. Kumar, "A High Gain Microstrip Patch Antenna with Slotted Ground Plane for Sub-6 GHz 5G Communications," in *2020 International Conference on Artificial Intelligence, Big Data, Computing and Data Communication Systems (icABCD)*, Durban, South Africa: IEEE, Sep. 2020.
- [9] V. Ulitama, Y. Rafsyam, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Puzzle Pada Frekuensi 2 , 4 Ghz Untuk Monitoring Komposter," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*, Murie Dwiyanti, Ed., Depok: Politeknik Negeri Jakarta, 2021, pp. 49–52. Accessed: Jun. 06, 2023. [Online]. Available: <https://prosiding-old.pnj.ac.id/index.php/snte/article/view/3045>
- [10] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*. A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION, 2005.