

PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENNA MIMO 4 ELEMEN UNTUK KOMUNIKASI 5G DENGAN FREKUENSI 3.5 GHZ

DESIGN AND REALIZATION OF MIMO 4 ELEMENT ANTENNA FOR 5G COMMUNICATION WITH 3.5 GHZ FREQUENCY

Ananta Putri Prakusya¹, Dwi Andi Nurmantris², Radial Anwar³

^{1,2,3}Fakultas Ilmu Terapan, Telkom University, Bandung

¹anantaprakusya@gmail.com, ²dwiandi@tass.telkomuniversity.ac.id,

³Radialanwar@tass.telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Teknologi komunikasi selular sedang mengalami perkembangan yang pesat dengan hadirnya 5G (*fifth generation*). generasi komunikasi nirkabel kelima menargetkan peningkatan laju data yang lebih tinggi dan kapasitas yang lebih besar dari generasi sebelumnya. salah satu teknik yang dapat digunakan untuk meningkatkan performansi sistem komunikasi 5G adalah dengan menggunakan teknik antenna MIMO (*Multiple Input Multiple Output*). Salah satu *frequency* yang digunakan adalah middle frequency karna dianggap lebih berpeluang untuk dijadikan frekuensi layanan 5G di indonesia serta memiliki cakupan yang lebih besar sehingga menghemat biaya pengembangan jaringan..

Pada proyek akhir ini akan dilakukan perancangan dan realisasi antenna MIMO empat elemen untuk komunikasi 5G pada frekuensi 3.5 GHz yang akan di peruntukkan pada *smartphone* 7 inci. Antena yang digunakan kali ini adalah antenna MIMO empat elemen yang memiliki bentuk patch berbasis monopoli kemudian di miniaturisasi, ini bertujuan agar antenna memiliki ukuran yang lebih kecil. Simulasi perancangan antenna MIMO kali ini dilakukan menggunakan software CST Studio Suite 2019 dengan memperhatikan nilai parameter *Return Loss*, *VSWR*, *Bandwidth* dan *Mutual Coupling*.

Perancangan antenna MIMO 4 elemen ini menghasilkan nilai parameter, seperti *Return Loss* pada elemen satu sebesar -22.705094 dB, elemen dua sebesar -20.549127dB, elemen tiga sebesar -22.156589 dB, dan elemen empat sebesar -20.295921 dB. nilai *VSWR* pada elemen satu sebesar 1.1592773, elemen dua sebesar 1.2079065, elemen tiga sebesar 1.1692295, dan elemen empat sebesar 1.2319824. nilai *Bandwidth* ≥ 400 MHz, dan nilai *Mutual Coupling* ≤ -20 dB, Antena ini digunakan untuk komunikasi 5G dengan frekuensi kerja 3.5 GHz.

Kata Kunci: *Microstrip, Miniaturization, MIMO, 5G.*

Abstract

Cellular communication technology is experiencing rapid development with the presence of 5G (*fifth generation*). The fifth generation of wireless communication is targeting an increase in higher data rates and greater capacity than the previous generation. One technique that can be used to improve the performance of a 5G communication system is to use the MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) antenna technique. One of the frequencies used is middle frequency because it is considered more likely to be a 5G service frequency in Indonesia and has greater coverage thereby saving network development costs.

In this final project will be carried out the design and realization of four-element MIMO antennas for 5G communication at a frequency of 3.5 GHz which will be allocated to a 7-inch smartphone. The antenna used this time is a four-element MIMO antenna which has a monopoli-based patch shape then miniaturized, this aims to make the antenna smaller. This time the MIMO antenna design simulation was performed using CST Studio Suite 2019 software by taking into account the parameters of *Return Loss*, *VSWR*, *Bandwidth* and *Mutual Coupling*.

The design of the MIMO 4 element antenna produces parameter values, such as *Return Loss* on element one of -22.705094 dB, element two of -20,549127dB, element three of -22.156589 dB, and element four of -20.295921 dB. the value of *VSWR* on element one is 1.1592773, element two is 1.2079065, element three is 1.1692295, and element four is 1.2319824. *Bandwidth* value ≥ 400 MHz, and *Mutual Coupling* value ≤ -20 dB, this antenna is used for 5G communication with a working frequency of 3.5 GHz.

Keywords: *Microstrip, Miniaturization, MIMO, 5G.*

1. PENDAHULUAN

Teknologi 5G hadir untuk memecahkan masalah dan kebutuhan untuk meningkatkan efisiensi dan kapasitas jaringan, peningkatan data rate dengan cakupan yang lebih baik pada konsumsi daya yang rendah. Maka dari itu diperlukan suatu perancangan antenna yang cocok untuk komunikasi nirkabel 5G guna mencapai *bandwidth* yang lebih besar, radiasi yang lebih baik, efisiensi antenna yang lebih baik, dan kinerja yang baik. Sebagai generasi baru jaringan komunikasi 5G memiliki keunggulan transmisi data rate yang tinggi dan pemanfaatan sumber spektrum dibandingkan dengan jaringan 4G dan cakupannya juga sangat meningkat. Telah banyak dilakukan kegiatan penelitian diseluruh dunia untuk memajukan jaringan nirkabel berikutnya yaitu 5G atau generasi kelima.

Teknik MIMO merupakan teknik yang menggunakan *multi* antenna baik pada *transmitter* maupun *receiver*. MIMO adalah salah satu teknik yang dapat meningkatkan performansi jaringan 5G. antenna MIMO dibuat lebih dari satu antenna pemancar dan lebih dari satu antenna penerima bertujuan untuk memanfaatkan propagasi *multipath*.

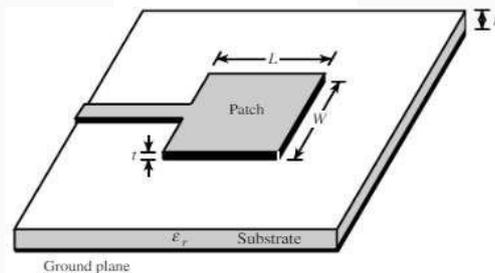
Dalam perancangan antenna MIMO empat elemen kali ini menggunakan patch berbentuk monopol yang diminiaturisasi, Ini bertujuan untuk mengurangi ukuran patch dari antenna tersebut. Beberapa penelitian sebelumnya juga telah dilakukan miniaturisasi patch antenna diantaranya adalah Vladimir Ssorin dilakukan perancangan dan realisasi antenna dengan bentuk patch yang diminiaturisasi yang diaplikasikan untuk USB Dongle [1]. Kemudian pada [2] dilakukan perancangan dan realisasi antenna mimo 2x2 dengan meminiaturisasi patch monopol yang diaplikasikan untuk LTE. Dan pada [3] dilakukan perancangan dan realisasi antenna mimo 2x2 dengan patch yang diminiaturisasi dan menghasilkan *bandwidth* yang lebar.

Dalam proyek akhir ini dilakukan perancangan dan realisasi antenna MIMO 4 elemen yang berkerja pada frekuensi 3.5 GHz dengan menggunakan *software* CST *Microwave Studio* sehingga nantinya dapat digunakan untuk aplikasi jaringan komunikasi nirkabel 5G pada smartphone 7 inci.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antenna yang berbentuk papan tipis dan mampu bekerja pada frekuensi yang sangat tinggi. Antena mikrostrip dibuat dengan menggunakan sebuah substrat yang mempunyai tiga buah elemen dasar yaitu peradiasi (*radiator*), elemen substrat (*substrate*), dan elemen pentanahan (*ground*) [4]. struktur antenna mikrostrip diperhatikan pada gambar 1:



Gambar 1 Struktur Antena Mikrostrip [4]

Untuk menentukan dimensi antenna mikrostrip, secara umum digunakan (2.1) sampai dengan (2.9) [4]:

a. Lebar Patch

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

Dengan

- W : tebal *patch* (m)
- c : kecepatan cahaya di ruang bebas (3×10^8 m/s)
- fc : frekuensi kerja antenna yang diinginkan (Hz)
- ϵ_r : *permittivitas relatif* substrat.

b. Panjang *Patch*

Sedangkan untuk menentukan panjang *patch* (L) diperlukan parameter ΔL , sebagai berikut.

$$\Delta L = 0,412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3) \left(\frac{w}{h} + 0,264\right)}{(\epsilon_{reff} - 0,258) \left(\frac{w}{h} + 0,8\right)} \quad (2)$$

$$L = \frac{c}{2f \sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2 \Delta L \quad (3)$$

Dengan nilai ϵ_{reff} dapat dihitung menggunakan (2.4)

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Dengan

h : tebal substrat (mm)

ϵ_{reff} : *permittivitas efektif* substrat

c : kecepatan cahaya di ruang bebas (3×10^8 m/s)

c. Panjang dan Lebar Substrat

Untuk menghitung panjang dan lebar substrat dengan cara perhitungan yang sama untuk perhitungan *groundplane*, sebagai berikut:

$$W_g = 6h + W \quad (5)$$

$$L_g = 6h + L \quad (6)$$

d. *Feed line*

Untuk catuan ke *patch*, digunakan metode *microstrip line feeding*. Metode ini tersusun dari dua konduktor, yaitu sebuah strip dengan lebar w dan bidang pentanahan (*Ground Plane*), keduanya dipisahkan oleh suatu substrat yang memiliki *permittivitas relatif* (ϵ_r) dengan tinggi (h). Parameter utama yang penting untuk diketahui pada suatu saluran transmisi adalah impedansi karakteristiknya (Z_0) [5]. Impedansi karakteristik (Z_0) dari saluran *microstrip* ditentukan oleh lebar strip (w) dan tinggi substrat (h). Persamaan (2.7) untuk menghitung panjang *feed line* dan persamaan (2.8) untuk menghitung lebar *feed line* [4].

$$L_f = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (7)$$

$$W_f = \frac{2h}{\pi} \left\{ B + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (8)$$

Kemudian untuk menghitung nilai B dengan Z_0 adalah nilai impedansi saluran catu [4]. Dapat menggunakan persamaan (2.9) dan (2.10).

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (9)$$

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \ln \left[\frac{8h}{w} + \frac{w}{4h} \right] \quad (10)$$

Setelah menentukan dimensi antenna, untuk perancangan antenna MIMO yang tersusun lebih dari satu elemen, dibutuhkan jarak antar elemen sebagai pemisah. dimana jarak antar elemen (d) sebanding dengan panjang gelombang.

$$d = \frac{\lambda}{2} \quad (11)$$

Jarak antar antenna diperlukan agar tidak terjadi *mutual coupling* atau munculnya suatu tegangan di salah satu antenna akibat arus antenna yang berdekatan. tetapi jarak antar antenna juga dapat diminimalkan untuk mengurangi ukuran antenna, dengan syarat tetap memenuhi kondisi *mutual coupling* dibawah -20 dB. [6]

2.2 MIMO

Multiple Input Multiple Output (MIMO) adalah suatu sistem yang terdiri dari lebih dari satu terminal atau antena pada sisi pengirim dan penerima. Dengan penggunaan antena lebih dari satu antena, MIMO mendukung spesifikasi media transmisi yang membutuhkan kapasitas besar pada sistem komunikasinya. Sistem ini menggunakan sejumlah M antena pemancar dan sejumlah N antena penerima, sehingga sering ditulis dengan sistem penulisan MIMO $M \times N$. [7] Pemodelan sinyal MIMO dipedakan menjadi dua yaitu model *Spatial Multiplexing* dan model *Diversity*. [8]

- *Spatial Multiplexing*

Teknik ini merupakan teknik pertama yang digunakan pada MIMO. Pada sisi pengirim sinyal akan ditransmisikan melalui beberapa lintasan *multipath* yang kemudian akan di terima di sisi penerima. Dengan teknik ini memungkinkan mencapai kapasitas kanal yang besar. [8]

- *Diversity*

Pada model diversity data yang dipancarkan pada setiap antena pemancar adalah sama. Kemudian dapat digunakan metode transmitter selection diversity untuk memilih satu pemancar saja dengan kualitas terbaik. Sedangkan pada penerima digunakan metode combining (EGC/MRC) untuk mendapatkan diversitas murni. Model diversity digunakan untuk mengurangi galat akibat fading dan noise dengan diversitas antena pada pemancar dan penerima. [8]

Antena MIMO juga memiliki karakteristik. Adapun karakteristik antena MIMO adalah sebagai berikut.

- Mutual Coupling dan Isolasi

Mutual coupling adalah efek yang menyebabkan terjadinya penurunan kualitas parameter antena. Mutual coupling dapat diukur dengan melihat besaran isolasi, Isolasi didefinisikan sebagai besar daya transmisi antara dua input port pada antena multiport yang diuji. Dalam sistem MIMO, pengaruh efek *mutual coupling* diusahakan seminimal mungkin karena mempengaruhi performa setiap antena. [9]

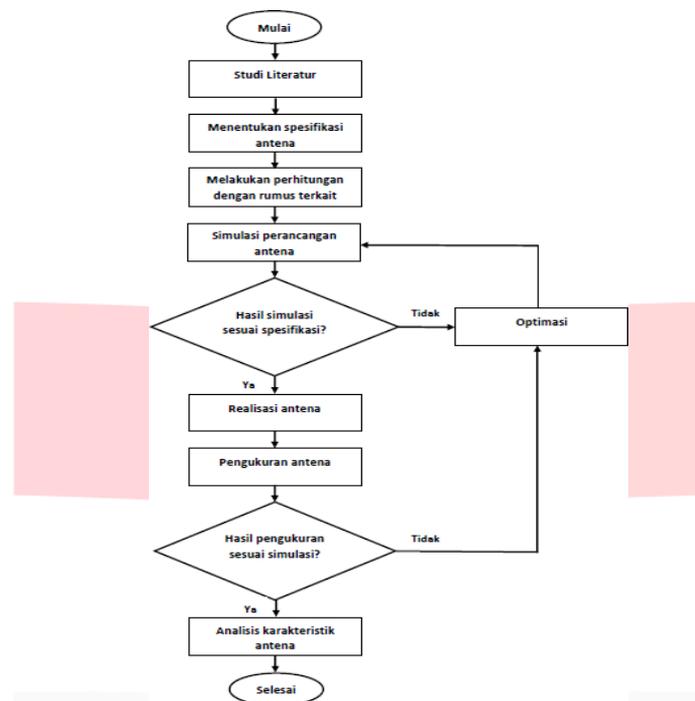
- Koefisien Korelasi

Koefisien korelasi yaitu koefisien yang menyatakan tingkat kesamaan antara sinyal yang diterima oleh masing-masing antena. Koefisien korelasi bernilai dari 0 hingga 1. idealnya, sistem *diversity* membutuhkan koefisien korelasi mendekati nol artinya sinyal yang diterima oleh masing-masing antena adalah tidak sama. Koefisien korelasi harus sekecil mungkin. [9]

3. PERANCANGAN ANTENA

3.1 Diagram Alir Pembuatan Antena

Berikut diagram alir pembuatan antena.



Gambar 2 Diagram Alir Pembuatan Antena

3.2 Spesifikasi Antena

Langkah awal dalam merancang antenna adalah dengan menentukan spesifikasi antena sebagai acuan. Adapun spesifikasi antena tersebut, yaitu :

- VSWR : ≤ 2
- Return Loss : ≤ -10 dB
- Bandwidth : ≥ 400 MHz
- Mutual Coupling : ≤ -20 dB
- Frekuensi Kerja : 3.5 GHz

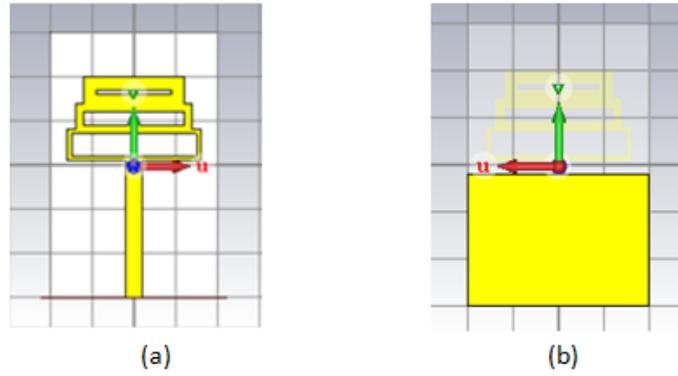
3.3 Teknik Pencatuan

Teknik pencatuan yang digunakan untuk Proyek Akhir ini adalah *microstrip line feed*. *Microstrip line feed* dapat mempermudah proses pabrikan antenna MIMO empat elemen yang dilakukan secara manual. Pada teknik ini, bagian *feed* antenna menghubungkan langsung antara *patch* dan konektor.

3.4 Perancangan antenna

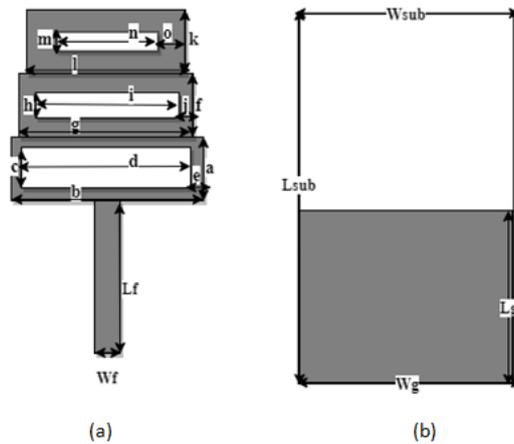
3.4.1 Perancangan Antena Satu Elemen

Dalam merancang antenna mikrostrip ada berbagai macam bentuk *patch* yang dapat digunakan. Pada Gambar 3 dapat dilihat antenna yang dirancang pada proyek akhir kali ini memiliki bentuk *patch* yang diminiaturisasi. Antenna yang di desain kali ini terdiri dari 3 rectangular yang ditumpuk menjadi satu, dari tiga *patch* yang disusun menjadi satu dilakukan miniaturisasi sehingga antenna memiliki beberapa slot, miniaturisasi bertujuan agar antenna memiliki dimensi lebih kecil. Pada antenna ini juga dilakukan teknik DGS (*Defected Ground Structure*), teknik ini merupakan teknik memodifikasi bentuk *Groundplane*, antenna mikrostrip yang memiliki teknik DGS bisa disebut monopole yang bertujuan untuk meningkatkan *bandwidth*.



Gambar 3 (a) Tampak Depan Antena (b) Tampak Belakang Antena

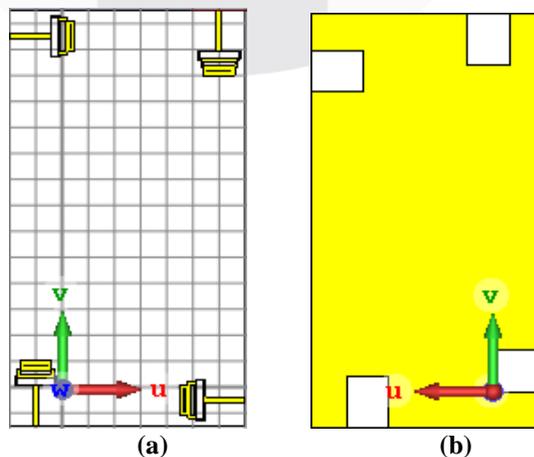
Gambar 4 memperlihatkan posisi dimensi antena: $L_f = 15.5$ mm, $W_f = 2$ mm, $L_g = 14$ mm, $W_g = 20$ mm, $L_{sub} = 30$ mm, $W_{sub} = 20$ mm, $a = 3.5$ mm, $b = 16$ mm, $c = 2.5$ mm, $d = 15$ mm, $e = 0.5$ mm, $f = 3$ mm, $g = 14$ mm, $h = 1.5$ mm, $i = 12$ mm, $j = 1$ mm, $k = 3$ mm, $l = 12$ mm, $m = 0.5$ mm, $n = 9$ mm, $o = 1.5$ mm.



Gambar 4 Dimensi Antena (a) Tampak Depan (b)Tampak Belakang

3.4.2 Perancangan Antena MIMO Empat Elemen

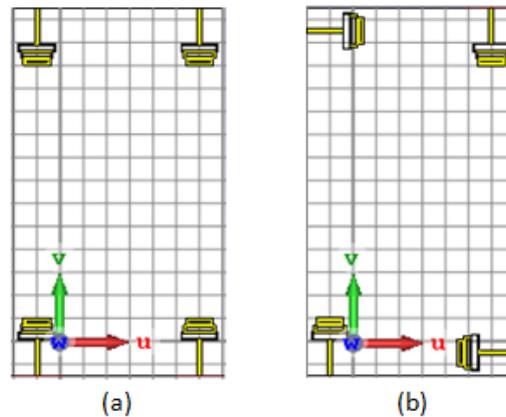
Setelah perancangan antena satu elemen sudah sesuai dengan parameter yang diinginkan, maka akan dilakukan perancangan antena MIMO empat elemen.



Gambar 5 Antena MIMO 4 Elemen (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang

3.5 Penempatan Port

Terdapat dua konfigurasi peletakan *port* pada setiap elemen antenna MIMO, dimana akan dicari peletakan seperti apa yang memberikan nilai *mutual coupling* paling kecil. Kedua konfigurasi *port* terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6 (a) Konfigurasi Port Satu (b) Konfigurasi Port Dua

Nilai *mutual coupling* pada masing-masing konfigurasi *port* diperlihatkan pada Tabel 1 :

Tabel 1 Pengaruh Penempatan Port Terhadap *Mutual Coupling*

S Parameter	Konfigurasi Satu (dB)	Konfigurasi Dua (dB)
S11	-18,919754	-22,705094
S21	-45,69898	-36,813777
S31	-32,046472	-30,737849
S41	-23,606882	-48,973516
S12	-46,166727	-36,806395
S22	-18,907408	-20,522252
S32	-23,689263	-48,942507
S42	-32,37357	-40,149459
S13	-32,373573	-30,738035
S23	-23,689264	-48,896443
S33	-18,907402	-22,156589
S43	-46,166727	-36,641353
S14	-23,689264	-49,128724
S24	-32,37357	-40,148548
S34	-46,16673	-36,617717
S44	-18,907633	-20,295921

Pada Tabel 1 apat dilihat bahwa perancangan dengan posisi peletakkan *port* antenna pada konfigurasi dua memiliki nilai *mutual coupling* yang lebih kecil. Hal ini dikarenakan pengaruh radiasi dari antenna yang bersebelahan semakin besar. Berdasarkan data dari tabel 1 maka pada perancangan ini dipilih posisi peletakkan port antenna saling bersudut 90° .

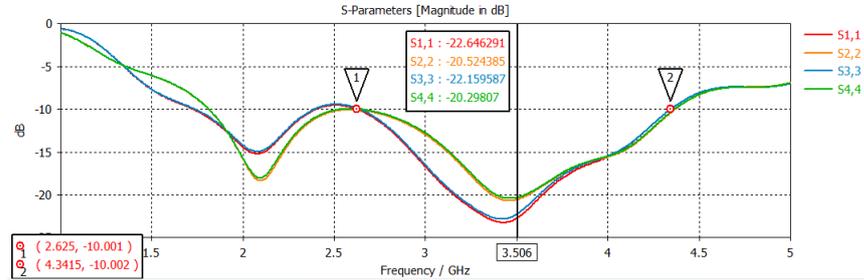
4. HASIL SIMULASI, PENGUKURAN DAN ANALISIS

4.1 Simulasi dan Pengukuran *Return Loss*, *VSWR*, dan *Mutual Coupling*

Pengukuran dilakukan dengan menghubungkan *Network Analyzer* ke masing-masing *port* antenna secara bergantian. Port antenna lainnya yang tidak terhubung dengan *network analyzer* ditutup dengan terminasi.

• *Return Loss dan Bandwidth*

Pada Tabel 2 dapat dilihat keempat antenna memiliki *return loss* ≤ -10.513 , hal ini sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan yaitu *return loss* ≤ -10 . Adapun nilai *bandwidth* yang diperoleh dari keempat antenna sebesar ≥ 1500 MHz, hal ini sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan yaitu *bandwidth* ≥ 400 MHz.



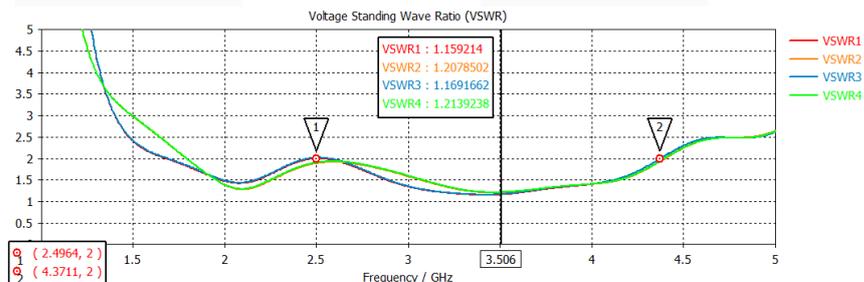
Gambar 7 Grafik *Return Loss* pada Antena MIMO

Tabel 2 Perbandingan *Return Loss* dan *Bandwidth* Antena antara Simulasi dengan Pengukuran

Antena	Return Loss (dB)		Bandwidth	
	Simulasi	Pengukuran	Simulasi	Pengukuran
Antena 1	-22,705094	-10.513	1700 MHz	1500 MHz
Antena 2	-20,522252	-10.215	2500 MHz	2800 MHz
Antena 3	-22,156589	-17.229	1700 MHz	1600 MHz
Antena 4	-20,295921	-14	1700 MHz	2800 MHz

• *VSWR*

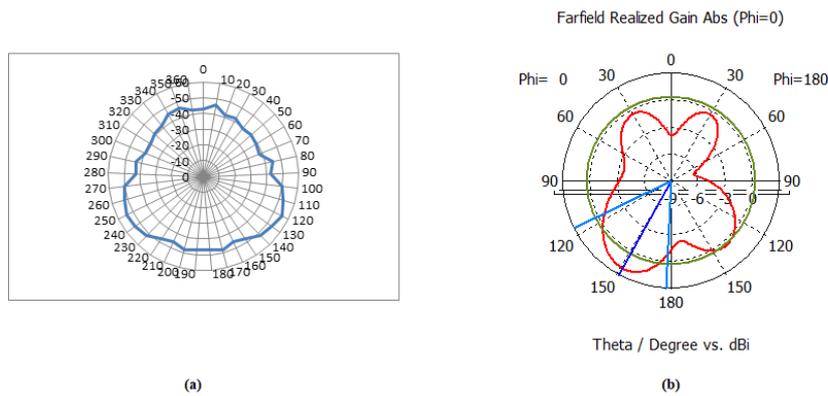
Pada Tabel 3 dapat dilihat keempat antenna memiliki *VSWR* $\leq 1,84$. Hal ini sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan yaitu *VSWR* ≤ 2 .



Gambar 8 Grafik *VSWR* pada Antena MIMO

Tabel 3 Perbandingan *VSWR* Antena antara Simulasi dengan Pengukuran

Antena	VSWR	
	Simulasi	Pengukuran
Antena 1	1,15	1,84
Antena 2	1,2	1,31
Antena 3	1,16	1,31
Antena 4	1,23	1,49



Gambar 10 Polarisasi (a) Hasil Pengukuran (b) Hasil Simulasi

Berdasarkan perhitungan axial ratio dari antenna pada simulasi adalah 7.84 yang berarti polarisasi yang dimiliki antenna adalah *elips*, sedangkan nilai axial ratio yang diperoleh pada simulasi antenna kali ini adalah 1.56 yang berarti polarisasi yang dimiliki antenna adalah *elips*.

4.5 Analisis, Simulasi dan Pengukuran Gain

Nilai *gain* yang diperoleh pada saat pengukuran lebih baik dibandingkan dengan hasil simulasi. Nilai *gain* yang diperoleh pada saat pengukuran sebesar 2.45 dBi, sedangkan nilai *gain* diperoleh pada saat simulasi sebesar 2,33 dBi. Gain antenna sudah memenuhi spesifikasi, namun terlihat ada sedikit perbedaan dengan gain yang didapat ketika simulasi. Hal ini disebabkan oleh pembacaan level daya terima yang tidak akurat.

Gambar 11 Perbandingan Nilai *Gain* antara Simulasi dengan Pengukuran

Gain Simulasi (dBi)	Gain Pengukuran (dBi)
2,33	2,45

5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari seluruh proses perancangan dan realisasi ini adalah sebagai berikut:

1. Antena yang dirancang dapat bekerja pada rentang frekuensi yang sesuai dengan spesifikasi yaitu 3.5 GHz dengan $VSWR \leq 1.8$. *Bandwidth* yang dihasilkan juga memenuhi spesifikasi yaitu pada Elemen satu adalah 1500 MHz atau 54%, pada Elemen dua adalah 2800 MHz atau 84%, pada Elemen tiga adalah 1600 MHz atau 43%, pada Elemen empat adalah 2800 MHz atau 82%. *Mutual Coupling* keempat antenna dari hasil pengukuran ≤ -19.254 dB, *Gain* antenna sebesar 2.45 dBi.
2. Pola radiasi yang dihasilkan antenna adalah *omnidireksional*, sedangkan polarisasi yang dihasilkan antenna adalah *elips*.
3. Mengubah konfigurasi peletakkan *port* menjadi saling bersudut 90° dapat memperkecil mutual coupling. Perubahan jarak antar antenna mempengaruhi *mutual coupling*, semakin jauh jarak antar antenna *mutual coupling* semakin kecil.

5.2 Saran

Untuk mendapatkan performansi antenna yang cukup baik, berikut saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya, antara lain :

1. Gunakan bentuk *patch* atau modifikasi yang lain untuk mendapatkan performansi yang lebih baik.
2. Fabrikasi antenna sebaiknya dilakukan dengan lebih presisi agar didapatkan hasil realisasi antenna yang sesuai. Begitu juga dengan penyolderan *port* antenna, lakukan dengan lebih rapi.
3. Lakukan pengukuran di tempat yang ideal, seperti di *anechoic chamber*. Jika tidak bisa melakukan pengukuran di *anechoic chamber*, cari ruangan lapang yang minim pantulan dari benda-benda sekitar.
4. Pengukuran lebih baik dilakukan secara individu tanpa harus melibatkan orang lain agar pengukuran berjalan dengan maksimal dan menghasilkan nilai parameter yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ssorin V., Alexey A., and Alexander M. "Compact MIMO Microstrip Antennas for USB Dongle Operating," *International Journal of Antennas and Propagation*, pp. 1-12, 2012.
- [2] Yang L., T. Li., & S. Yan. "Highly Compact MIMO Antenna System for LTE/ISM Applications.," *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Antennas and Propagation.*, 2015.
- [3] Al-saif H., M. Usman., M. T. Chughtai.,& J. Nasir. "Compact Ultra-Wide Band MIMO Antenna System for Lower 5G Bands," *Hindawi Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018.
- [4] Maulana, Caca, et al. *Teknik Antena dan Propagasi.: Laboratorium Antena & Wireless Communication. [Modul Praktikum].*, 2018.
- [5] Adipurnama B. A., Heroe W., & Yuyu W., "Design and Realization of MIMO 4x4 Rectangular Patch Microstrip Antenna 5.2 GHz for WIFI 802.11n.," *e-Proceeding of Engineering : Vol.3, No.1*, pp. 2-3, 2016.
- [6] Jones A. S. K., Levy O. N., & Budi S. "Perancangan Antena MIMO 2x2 Array Rectangular Patch dengan U-Slot untuk Aplikasi 5G.," *JNTETI*, pp. Vol.6, No.1, Page: 94-95., 2017.
- [7] Rizky A., Koesmarjianto., & Waluyo. "Perancangan Antena MIMO Mikrostrip 4x4 Patch Circular Pada Frekuensi 2.4 GHz Untuk Aplikasi WLAN 802.11n.," pp. Vol. 7, No. 2, Page: 23-24., 2018.
- [8] Roza E., dan M. Mujirudin. "Sistem Mimo dan Aplikasi Penggunaannya," *Rekayasa Teknologi* , 2013.
- [9] Sianipar, A. *Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip MIMO Bowtie 4x4 dengan Corner Reflektor 90° pada Frekuensi 1,8 GHz untuk Aplikasi LTE Melalui Teknik Pencatuan Mikrostrip Line*. Bandung: <https://elibrary.unikom.ac.id/>, 2018.