

## PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA MIMO 4×4 PATCH SINGKULAR MONOPOLE PADA FREKUENSI 2,1 GHZ UNTUK LTE

### (DESIGN AND REALIZATION OF 4×4 MIMO ANTENNA MONOPOLE CIRCULAR PATCH ON FREQUENCY 2,1 GHZ FOR LTE)

Sarah Ramadhani Putri<sup>1</sup>, Heroe Wijanto<sup>2</sup>, Trasma Yunita<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universitas Telkom, Bandung

sarahramadhania@student.telkomuniversity.ac.id<sup>1</sup>, heroewijanto@telkomuniversity.ac.id<sup>2</sup>,  
trasmayunita@telkomuniversity.ac.id<sup>3</sup>

#### Abstrak

LTE atau *Long Term Evolution*, merupakan jaringan nirkabel penerus jaringan 3G yang digunakan untuk meningkatkan kapasitas dan kecepatan jaringan saat ini. Dalam perkembangannya, LTE memiliki keunggulan untuk dapat mengakses internet dengan kecepatan tinggi. Salah satu teknologi mendasar yang digunakan pada LTE adalah MIMO atau *Multiple Input Multiple Output*.

Antena monopole merupakan antena yang memiliki karakteristik dengan menghilangkan atau mengganti setengah bidang pentahanan (*ground plane*) dari antena dipole. Pada Tugas Akhir ini, antena MIMO 4×4 *Patch* Sirkular Monopole dirancang bekerja pada frekuensi 2,1 GHz menggunakan teknik pencatutan *microstrip line*. Langkah awal dalam perancangan antena adalah menghitung dimensi antena melalui rumus-rumus, kemudian simulasi dan optimasi antena dengan *software* dan analisa hasil perancangan sehingga antena tersebut dapat bekerja dengan baik.

Antena ini menggunakan bahan substrat FR-4 Epoxy dan *copper* sebagai bahan untuk *ground plane* dan *patch*. Dengan menghilangkan setengah bagian *ground plane* didapatkan pola radiasi *omnidirectional*. Nilai *bandwidth* yang di peroleh dari 4 antena tersebut secara berturut-turut adalah 300 MHz, 300 MHz, 340 MHz, dan 340 MHz sudah sesuai spesifikasi (*bandwidth* ≥ 250 MHz). Nilai VSWR 4 antena tersebut juga telah memenuhi spesifikasi (*VSWR* ≤ 1.5) dengan nilai 1.04, 1.06, 1.06 dan 1.05. Polarisasi antena ini adalah polarisasi sirkular serta *mutual coupling* telah memenuhi spesifikasi dengan nilai < -20 dB.

**Kata kunci:** LTE, MIMO, Monopole, *Patch* Sirkular

#### Abstract

LTE or Long Term Evolution is a wireless network that continue 3G network for improving capacity and speeds of this network currently. On the development of LTE, its has advantage for access the internet with high speeds. One of the fundamental technologies used in LTE is MIMO or Multiple Input Multiple Output.

Monopole Antenna is an antenna that has a half value ground plane as the ground plane of a dipole antenna. Monopole Circular Patch 4×4 MIMO Antenna is designed works on 2,1 Ghz frequency with a microstrip line feeding technique. The early step of antenna design is calculate the antenna dimensions through formulas, then simulation and optimization the antenna with software and analysis the result of the antenna design thus the antenna could work well.

This antenna uses FR-4 Epoxy as substrate material and copper as material for ground plane and patch. By removing the half part of the ground plane could obtain the omnidirectional radiation pattern. The value of bandwidth obtained from the 4 antennas in a row are 300 MHz, 300 MHz, 340 MHz, and 340 MHz has fulfilled the specification (*bandwidth* ≥ 250 MHz). The value of VSWR from the 4 antennas also has fulfilled the specification (*VSWR* ≤ 1.5) with value 1.04, 1.06, 1.06, 1.05. This antenna polarization is circular polarization also the mutual coupling has fulfilled the specification with value < -20 dB.

**Keywords:** LTE, MIMO, Monopole, Circular Patch

#### 1. Pendahuluan

Telekomunikasi merupakan salah satu aspek penting yang dibutuhkan dalam kehidupan. Perkembangan dalam dunia telekomunikasi berkembang dengan pesat generasi ke generasi. Saat ini, perkembangan teknologi telekomunikasi telah mencapai generasi 4G. LTE atau *Long Term*

*Evolution*, merupakan jaringan nirkabel penerus jaringan 3G yang digunakan untuk meningkatkan kapasitas dan kecepatan jaringan saat ini. Saat ini jaringan LTE sebagai jaringan nirkabel tercepat yang dapat bekerja pada frekuensi berbeda, seperti 700 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, 2300 MHz, 2600 MHz[1]. Maka dari itu, penulis memutuskan untuk menggunakan frekuensi 2,1 GHz. Kecepatan transfer data LTE downlink mencapai 300 Mbps dan uplink 75 Mbps.

Antena mikrostrip juga memiliki banyak bentuk diantaranya, *rectangular, square, circular, elliptical, triangular, dan circular ring*. Antena yang menggunakan elemen peradiasi atau *patch* berbentuk *circular* lebih mudah untuk dimodifikasi sehingga akan menghasilkan parameter antena yang baik seperti, pola radiasi, polarisasi, frekuensi kerja[2]. Antena mikrostrip dinilai memiliki karakter yang dapat memenuhi perancangan tersebut, dikarenakan bentuknya yang kecil, tipis, dan mudah untuk difabrikasi. Pada tugas akhir ini, perancangan antena menggunakan *patch* sirkular monopole.

Dalam pengimplementasian LTE membutuhkan beberapa komponen-komponen, dari segi transmisi, antena menjadi salah satu komponen yang penting. Salah satu teknologi mendasar yang digunakan pada LTE adalah MIMO atau *Multiple Input Multiple Output*. Dengan adanya teknologi MIMO yang menggunakan beberapa antena secara koheren akan mengurai lebih banyak informasi dibandingkan dengan antena tunggal [3]. Dengan menggunakan sistem MIMO pada komunikasi wireless yang memiliki kecepatan tinggi dapat mengatasi *multipath fading* [4].

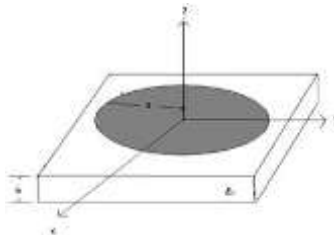
## 2. Dasar Teori

### 2.1 Antena

Antena merupakan suatu transmisi untuk mengirim dan menerima gelombang elektromagnetik, yang merubah besaran listrik dari suatu transmisi untuk diradiasikan ke udara bebas [5]. Antena pemancar merupakan perubahan dari gelombang teruntun menjadi gelombang elektromagnetik yang merambat pada ruang bebas melalui saluran transmisi. Sedangkan antena penerima merupakan perubahan dari gelombang elektromagnetik yang merambat pada ruang bebas menjadi gelombang teruntun melalui saluran transmisi [6].

### 2.2 Antena Mikrostrip Patch Sirkular

Antena Mikrostrip merupakan suatu antena berbahan konduktor metal atau logam yang memiliki kelebihan seperti ringan, sederhana, kecil, tipis, dan mudah di fabrikasi. Tetapi memiliki *bandwidth* sempit dan efisiensi rendah. Antena mikrostrip mempunyai 4 bagian dasar, yaitu elemen peradiasi (*patch*), substrat dielektrik, saluran transmisi, dan bidang pentanahan (*ground plane*) [7].

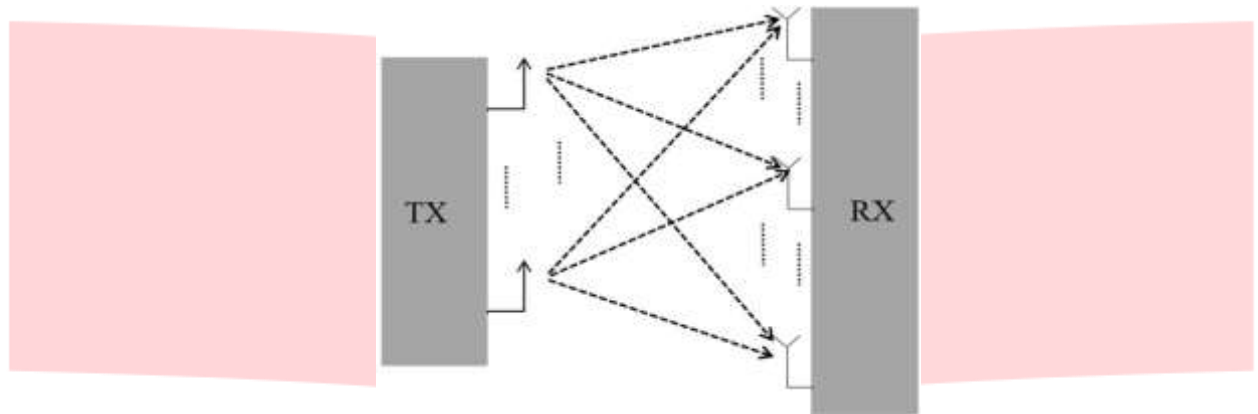


Gambar 1 Struktur Bidang Antena Mikrostrip

*Patch* sirkular merupakan antena yang menggunakan elemen peradiasinya berbentuk *circular* atau lingkaran. Bentuk *patch* sirkular mempunyai performa yang hampir sama dengan *patch* lainnya. *Patch* sirkular memiliki kelebihan karena bentuknya lebih fleksibel dan lebih mudah saat melakukan simulasi dan optimasi.

### 2.3 MIMO

MIMO atau disebut dengan *Multiple Input Multiple Output* adalah sistem yang menggunakan antena berjumlah lebih dari satu pada sisi pemancar atau sisi penerima. Notasi dalam sistem tersebut sejumlah M antena pemancar dan sejumlah N antena penerima. Sistem penulisan sistem MIMO dapat ditulis dengan MIMO  $M \times N$ . Maka, makna dari MIMO  $4 \times 4$  adalah jumlah antena pada sisi pemancar dan sisi penerima sama-sama berjumlah empat buah [8].



Gambar 2 Sistem MIMO

*Fading* merupakan perubahan daya sinyal yang diterima karena pada gelombang radio terjadi pantulan. Dengan menggunakan teknik *diversity* yang berbeda dapat mengurangi *fading* sinyal. Dengan menggunakan teknik *diversity* yang berbeda dapat mengurangi *fading* sinyal.

*Multipath fading* merupakan suatu kendala dimana dapat menyebabkan sinyal yang diterima oleh user menjadi terganggu, cacat, ataupun melemah dikarenakan lintasan sinyal yang berbeda-beda dari *base station* (pemancar) ke *user equipment* (penerima) [9]. Oleh karena itu sistem MIMO dapat mengurangi *multipath fading* dikarenakan sistem tersebut bekerja pada komunikasi *wireless* berkecepatan tinggi seperti pada LTE.

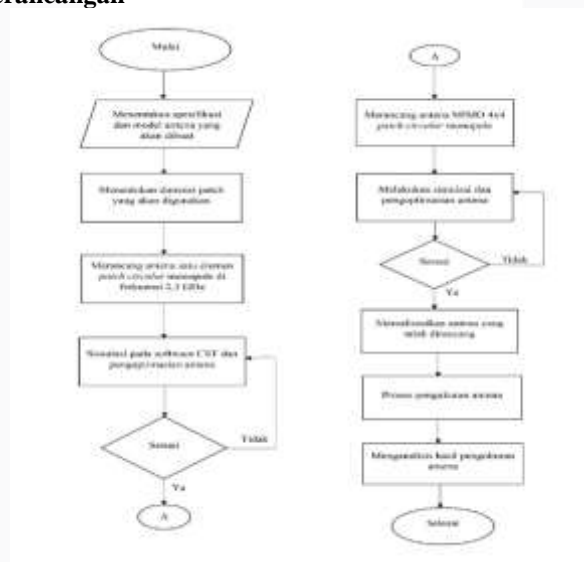
2.4 LTE

LTE atau *Long Term Evolution*, merupakan jaringan nirkabel penerus jaringan 3G yang digunakan untuk meningkatkan kapasitas dan kecepatan jaringan saat ini. Saat ini jaringan LTE sebagai jaringan nirkabel tercepat yang dapat bekerja pada frekuensi berbeda, seperti 700 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, 2300 MHz, 2600 MHz [1]. Dalam perkembangannya, LTE memiliki keunggulan untuk dapat mengakses internet dengan kecepatan tinggi.

LTE memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah *latency* yang rendah, *throughput* yang tinggi, biaya operasional yang rendah karena peningkatan pelanggan dan arsitektur yang sederhana, serta adanya FDD dan TDD pada platform yang sama.

3. Perancangan dan Simulasi Sistem

3.1 Diagram Alir Perancangan



Gambar 3 Diagram Alir Perancangan

Dalam perancangan antenna memiliki karakteristik yang berbeda untuk menyesuaikan dengan yang diinginkan, maka memerlukan spesifikasi yang tepat dan sesuai. Spesifikasi dari antenna MIMO 4x4 Patch *Circular Monopole* yang diinginkan dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

**Tabel 1** Spesifikasi Antena

Parameter	Nilai
Frekuensi	2,1 GHz
Bandwidth	250 MHz
Gain	$\geq 2$ dBi
VSWR	$\leq 1.5$
Mutual Coupling	$\leq -20$ dB
Return Loss	$\leq -14$ dB
Pola Radiasi	Omnidirectional
Polarisasi	Ellips

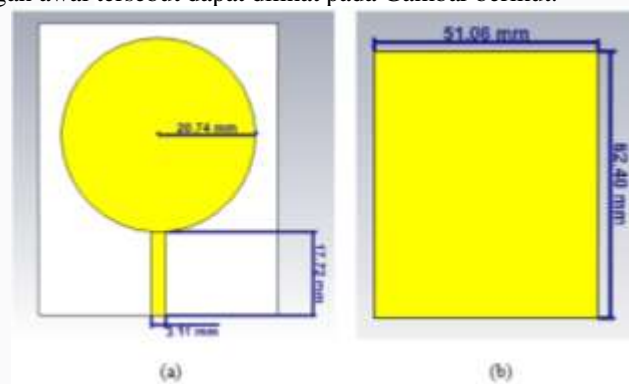
### 3.3 Desain awal antenna

Berdasarkan dengan perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan dimensi antenna awal yang akan dirancang, nilai dimensi antenna tersebut dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut:

**Tabel 2** Dimensi awal Antena

Parameter	Ukuran (mm)	Keterangan
R	20.74	Jari-jari patch
$W_g$	51.08	Lebar ground plane
$L_g$	62.4	Panjang ground plane
$W_f$	3,113	Lebar feed
$L_f$	17,72	Panjang feed
H	1,6	Tebal substrat
T	0,035	Tebal konduktor
D	73,5	Jarak antar elemen patch

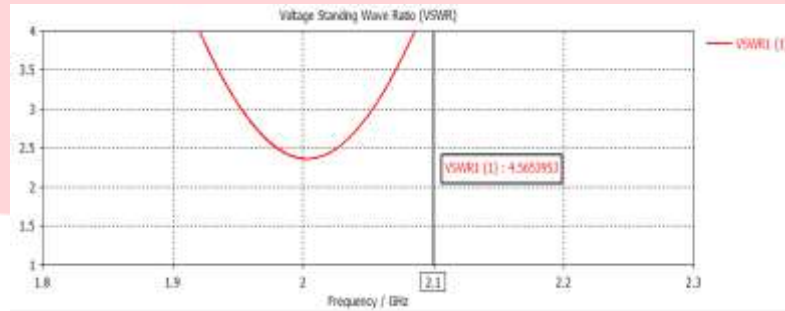
Hasil perancangan awal tersebut dapat dilihat pada Gambar berikut.



**Gambar 4** Desain awal antenna tampak depan dan tampak belakang

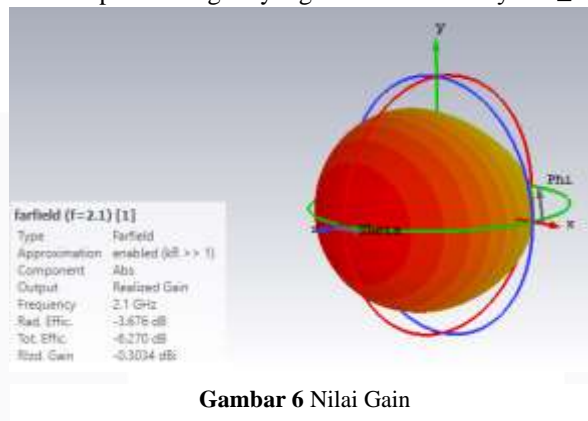
### 3.4 Simulasi Antena

Langkah awal adalah melakukan terlebih dahulu simulasi pada antena satu elemen untuk mengetahui spesifikasi antena sudah terpenuhi dan apakah antena tersebut memiliki performa yang baik. Hasil simulasi dari antena satu elemen patch circular memiliki nilai VSWR sebesar 4,56 dimana belum memenuhi spesifikasi VSWR awal yaitu  $\leq 1,5$ .



Gambar 5 VSWR Antena Satu Elemen

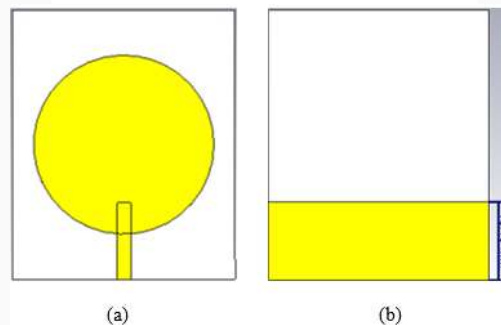
Pada simulasi ini, diperoleh nilai gain antena sebesar -0.3034 dBi, dimana nilai tersebut belum dapat memenuhi nilai spesifikasi gain yang telah ditentukan yaitu  $\geq 2$  dBi.



Gambar 6 Nilai Gain

### 3.5 Hasil Optimasi Antena Satu Elemen

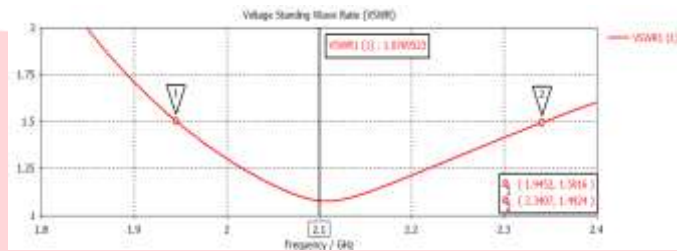
Hasil optimasi antena satu elemen, dengan memotong bidang *ground plane* agar mendapatkan nilai *bandwidth* yang lebar serta mendapatkan pola radiasi *omnidirectional*.



Gambar 7 Dimensi Antena setelah Optimasi

#### 1. VSWR

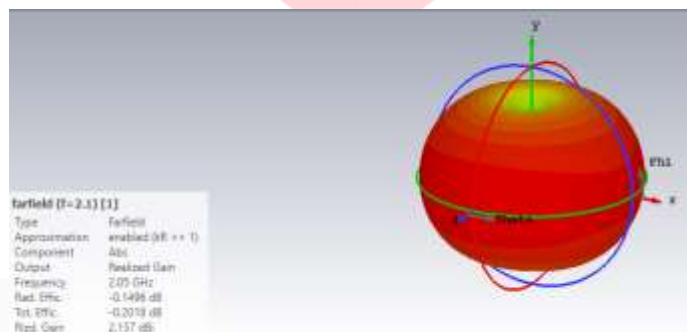
Setelah melakukan optimasi, diperoleh nilai VSWR sebesar 1,07 dimana sudah memenuhi spesifikasi awal yaitu  $VSWR \leq 1,5$  dengan nilai *bandwidth* sebesar 395,5 MHz. Dengan itu, nilai *bandwidth* juga sudah memenuhi spesifikasi yaitu 250 MHz.



Gambar 8 VSWR Optimasi Kedua

2. Gain

Untuk nilai *gain* yang didapatkan adalah 2.157 dBi, dimana nilai *gain* tersebut telah memenuhi spesifikasi awal antenna. Nilai *gain* tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.10 berikut.



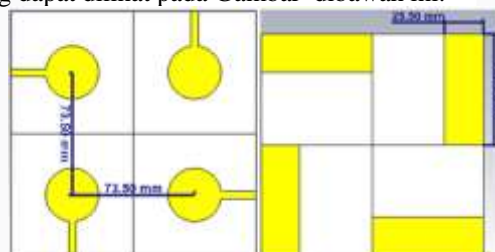
Gambar 3.1 Gain Antena Optimasi Kedua

3. Pola radiasi

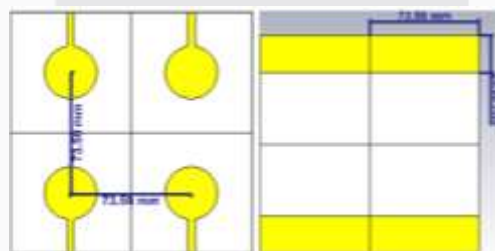
Pola radiasi azimuth ( $\phi=0$ ), pola radiasi yang dihasilkan adalah *omnidirectional*, dimana antenna tersebut memiliki pola pancar ke segala arah sedangkan pola radiasi elevasi ( $\phi=90$ ), pola radiasi yang dihasilkan adalah *bidirectional*, yang pola pancarnya terdapat dalam dua arah.

3.6 Simulasi Antena MIMO 4x4

Dalam simulasi antenna MIMO 4x4 harus memperhatikan jarak antar elemen, agar nilai *mutual coupling* tidak tinggi. Jarak antar elemen yang telah dihitung dari persamaan sebelumnya adalah 73,5 mm. Pada Tugas Akhir ini, perancangan antenna dilakukan dengan dua skenario yaitu, skenario A dan B yang dapat dilihat pada Gambar dibawah ini.



Gambar 9 Susunan Antena Skenario A tampak depan dan tampak belakang



Gambar 10 Susunan Antena Skenario B tampak depan dan tampak belakang



Parameter yang penting dalam perancangan antenna MIMO adalah *mutual coupling*. Jika, *mutual coupling* masih bernilai tinggi, maka performa dari antenna tersebut belum baik dan timbul adanya interferensi antara antenna satu dengan yang lainnya.

**Tabel 3** Perbandingan Mutual Coupling Skenario A dan B

Mutual coupling	Skenario A	Skenario B
S21	-28.45	-14.55
S31	-26.17	-30.46
S41	-29.00	-24.56
S12	-29.00	-14.55
S32	-28.45	-24.56
S42	-26.18	-30.46
S13	-26.17	-30.46
S23	-29.00	-24.56
S43	-28.45	-14.55
S14	-28.45	-24.56
S24	-26.18	-30.46
S34	-29.00	-14.55

**3.7 Hasil Optimasi Antena MIMO 4x4**

Optimasi pada antenna ini, dilakukan dengan cara mengubah jarak antar elemen. Setelah melakukan optimasi, dengan memperhatikan perubahan-perubahan pada parameter dari antenna tersebut, maka didapatkan hasil optimasi sebagai berikut.

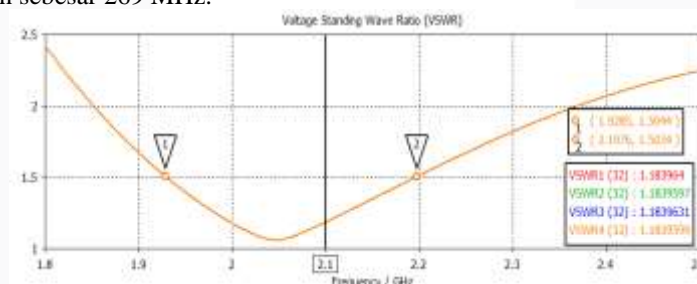
*1. Mutual Coupling*

**Tabel 4** Mutual Coupling setelah optimasi

Mutual Coupling	Nilai (dB)	Mutual Coupling	Nilai (dB)
S21	-26.57	S13	-23.08
S31	-23.08	S23	-27.08
S41	-27.08	S43	-26.57
S12	-27.08	S14	-26.57
S32	-26.57	S24	-23.08
S42	-23.08	S34	-27.08

*2. VSWR*

Nilai VSWR pada antenna 1, antenna 2, antenna 3, dan antenna 4 sebesar 1,18 dan *bandwidth* yang didapatkan sebesar 269 MHz.



**Gambar 11** Nilai VSWR dan Bandwidth Antena MIMO

*3. Gain*

Nilai *gain* yang didapatkan pada optimasi antenna MIMO 4x4 adalah sebesar 4,919 dBi.

**Tabel 5** Nilai Gain

Gain	Antena 1	Antena 2	Antena 3	Antena 4

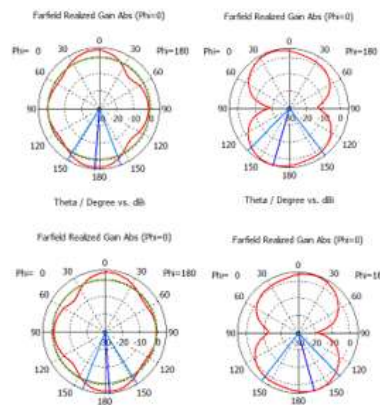
4.919 dBi	4.919 dBi	4.919 dBi	4.919 dBi
--------------	--------------	--------------	--------------

4. Polarisasi

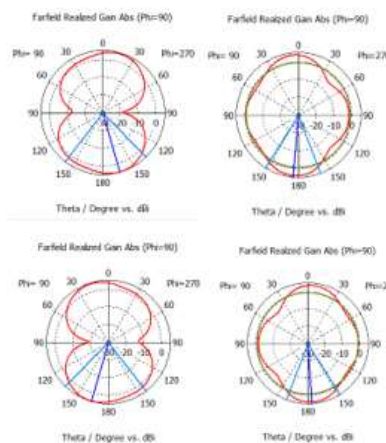
Polarisasi dalam perancangan antenna ini adalah polarisasi Ellips dengan nilai 15.49 dB

5. Pola radiasi

Pola radiasi perancangan antenna MIMO 4x4 pada antenna 1 dan antenna 3 memiliki perbedaan Pada antenna 2 dan antenna 4. Pola radiasi yang dihasilkan adalah *omnidirectional* dan *bidirectional*, hal tersebut dapat menghasilkan pola radiasi yang berbeda dikarenakan susunan pada antenna yang akan dirancang.



Gambar 12 Pola Radiasi Azimuth Antena MIMO 4x4



Gambar 13 Pola Radiasi Elevasi Antena MIMO 4x4

4. Analisis dan pengukuran

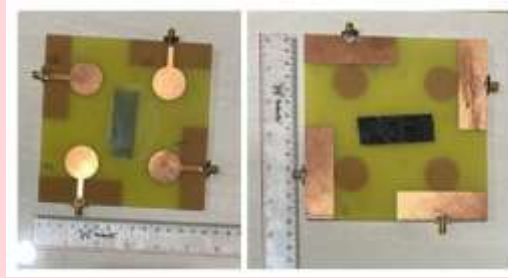
Pengukuran merupakan proses untuk mengetahui karakteristik dan performa antenna yang telah direalisasikan. Dengan adanya pengukuran, maka dapat menjadi perbandingan antara hasil simulasi dan realisasi yang meliputi parameter antenna seperti *bandwidth*, *gain*, *VSWR*, polarisasi dan pola radiasi. Pada Tugas Akhir ini, pengukuran antenna dilakukan di PT. Radar Telekomunikasi Indonesia.

4.1 Realisasi Antena

Setelah simulasi dan perancangan antenna pada *software* maka langkah selanjutnya adalah merealisasikan antenna tersebut. Pada Tugas Akhir ini, antenna yang direalisasikan dengan



menggunakan substrat FR-4 Epoxy dan *copper* sebagai *ground plane* dan *patch*. Realisasi antenna dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



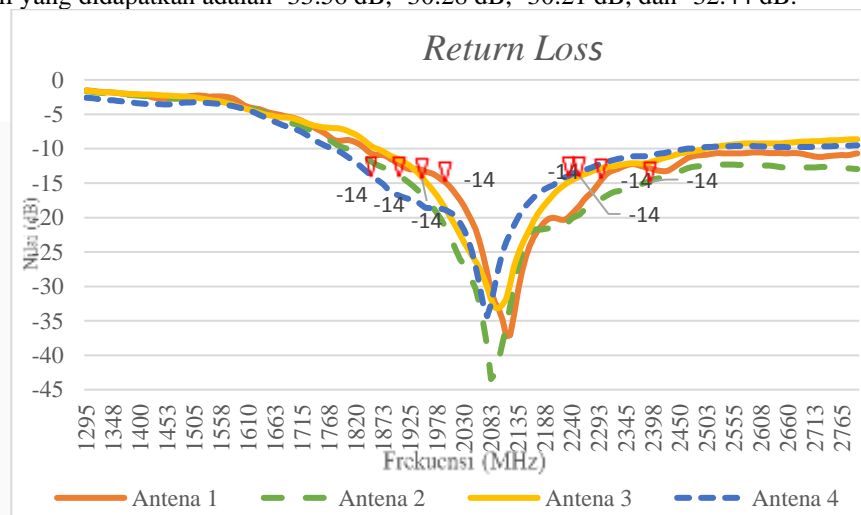
Gambar 14 Realisasi Antena

#### 4.2 Pengukuran Parameter Dalam

Pengukuran parameter dalam dilakukan untuk mengetahui nilai parameter *VSWR*, *return loss*, *bandwidth*, dan *mutual coupling* apakah sudah memenuhi spesifikasi antenna yang telah dirancang dan direalisasi.

##### 1. Return Loss

Hasil yang didapatkan adalah -33.56 dB, -30.28 dB, -30.21 dB, dan -32.44 dB.



Gambar 15 Hasil Pengukuran Return Loss

##### 2. Mutual Coupling

Hasil pengukuran *return loss* dan *mutual coupling* telah memenuhi spesifikasi awal antenna yaitu dengan nilai *return loss* < -14 dB dan *mutual coupling* < -20 dB.

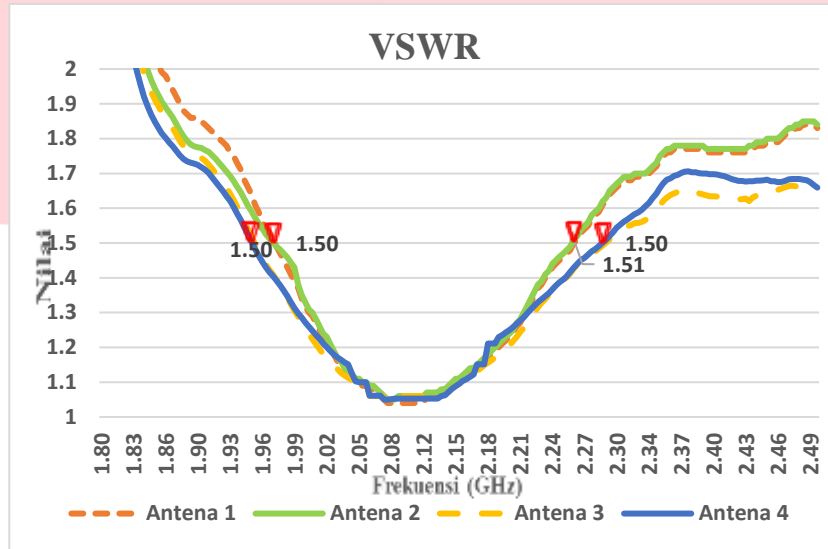
Tabel 6 Hasil Pengukuran Mutual Coupling

Mutual Coupling	Nilai (dB)	Mutual Coupling	Nilai (dB)
S21	-30.28	S13	-27.90
S31	-28.49	S23	-33.42
S41	-30.08	S43	-34.87
S12	-26.08	S14	-30.08
S32	-35.08	S24	-33.82
S42	-43.92	S34	-35.70

##### 3. VSWR

Dalam pengukuran parameter VSWR antenna MIMO 4x4 diperoleh secara berturut-turut

untuk antenna 1, antenna 2, antenna 3 dan antenna 4 yaitu sebesar 1.04, 1.06, 1.06 dan 1.05. Dengan hasil pengukuran tersebut terlihat bahwa nilai parameter VSWR sudah memenuhi spesifikasi awal antenna dimana  $VSWR \leq 1.5$ . Melalui VSWR, dapat dilihat untuk nilai *bandwidth* yang diperoleh dari ke-4 antenna tersebut adalah 300 MHz, 300 MHz, 340 MHz, dan 340 MHz.

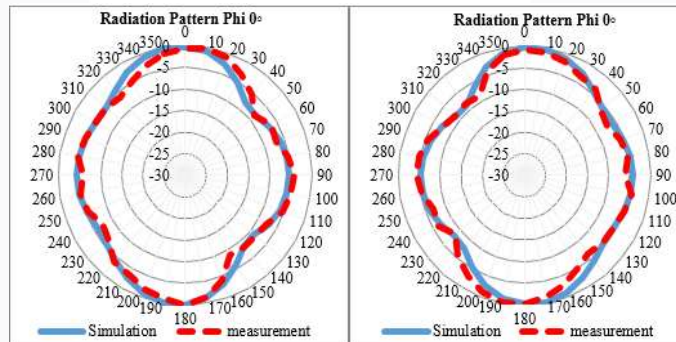


Gambar 16 Hasil Pengukuran VSWR

### 4.3 Pengukuran Parameter Luar

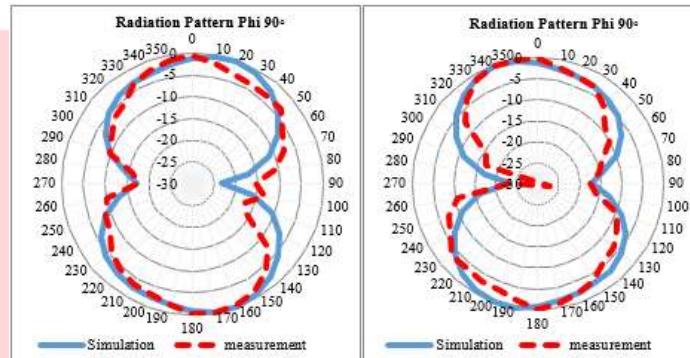
Pengukuran parameter luar memiliki tujuan untuk mengetahui hasil dari pola radiasi, polarisasi dan *gain* suatu antenna.

1. Pola Radiasi



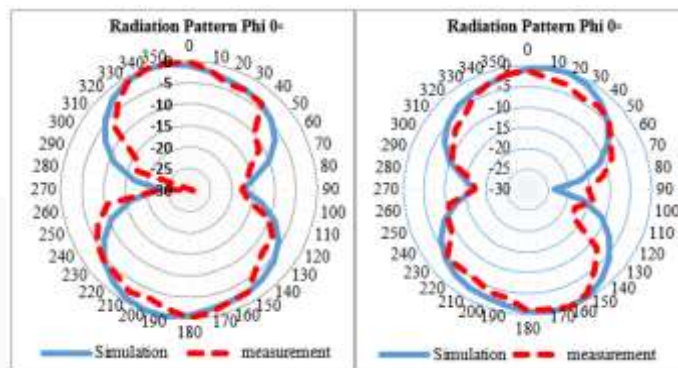
Gambar 17 Pola Radiasi Azimuth Antena 1 dan 3

Pengukuran pada antenna 1 dan 3, pola radiasi azimuth atau pada sudut  $\phi=0^\circ$  yang dihasilkan pada antenna tersebut adalah *omnidirectional* dikarenakan pada setiap sudut nilai daya yang dihasilkan hampir membentuk lingkaran, tetapi lingkaran yang terbentuk belum sempurna.



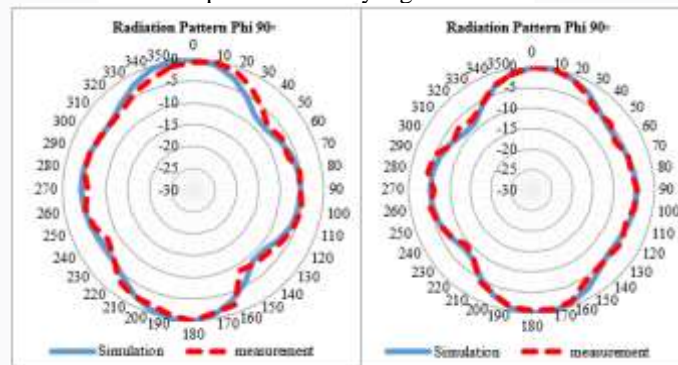
Gambar 18 Pola Radiasi Elevasi Antena 1 dan 3

Pola radiasi elevasi atau pada sudut  $\phi=90^\circ$  pada antenna tersebut adalah *bidirectional* dikarenakan ukuran elemen konduktor sebagai reflektor berukuran kecil sehingga akan mempengaruhi pola pancarnya.



Gambar 19 Pola Radiasi Azimuth Antena 2 dan 4

Pola radiasi azimuth antenna 2 dan 4 yang dihasilkan adalah *bidirectional* dengan arah pancar dari pola radiasi tersebut berada pada dua arah yang sama.



Gambar 20 Pola Radiasi Elevasi Antena 2 dan 4

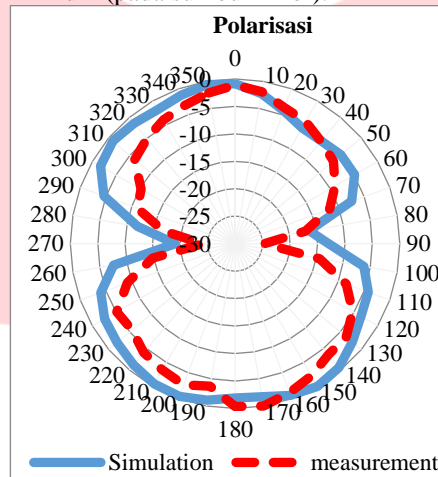
Pola radiasi yang dihasilkan pada  $\phi=90^\circ$  atau elevasi pada antenna 2 dan 4 adalah *omnidirectional* dengan pola pancar yang dihasilkan hampir membentuk lingkaran.

## 2. Polarisasi

Dalam pengukuran polarisasi untuk menentukan polarisasi yang dihasilkan dari suatu antenna dapat dilakukan melalui persamaan. Nilai polarisasi dapat dihitung dengan persamaan

$$\text{Axial ratio} = \frac{\sqrt{P_{\text{watt Major}} \times 377}}{\sqrt{P_{\text{watt Minor}} \times 377}} \quad (1)$$

dengan  $P_{watt\ Major}$  adalah daya terima maksimum (pada sumbu mayor) dan  $P_{watt\ Minor}$  adalah daya terima minimum (pada sumbu minor).



Gambar 21 Hasil Pengukuran Polarisasi Antena 1

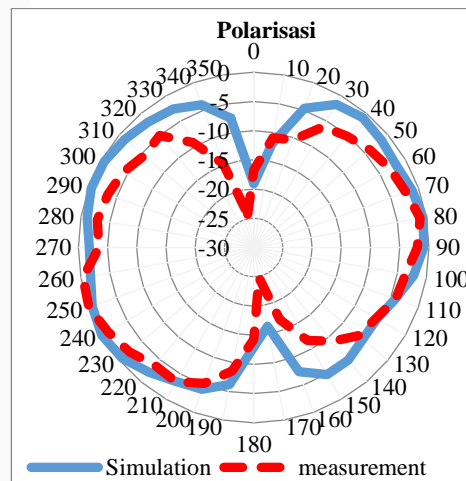
Dilihat pada Gambar 21 merupakan hasil pengukuran polarisasi Antena 1. Melalui persamaan (4.1), dihitung untuk pengukuran antena MIMO 4x4 dengan frekuensi 2,1 GHz dengan

Daya terima maksimum antena 1 = 0 dBm =  $10^{-3}$  watt

Daya terima minimum antena 1 = -24.66 dBm = 0,0000034 watt

$$Axial\ ratio\ (numerik) = \frac{\sqrt{P_{watt\ Major} \times 377}}{\sqrt{P_{watt\ Minor} \times 377}} = \frac{\sqrt{10^{-3} \times 377}}{\sqrt{0,0000034 \times 377}} = 17,14 = 12,34\ dB.$$

Melalui persamaan diatas polarisasi antena 1 adalah Ellips dengan rentang  $3\ dB < AR < 40\ dB$ .



Gambar 22 Hasil Pengukuran Polarisasi Antena 2

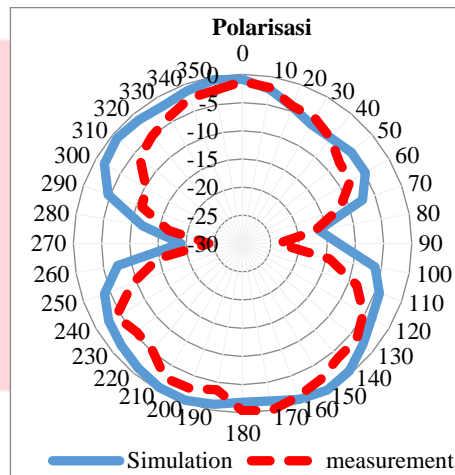
Pada Gambar 22 merupakan hasil pengukuran polarisasi Antena 2. Melalui persamaan (4.1), dihitung untuk pengukuran *axial ratio* dengan

Daya terima maksimum antena 2 = 0 dBm =  $10^{-3}$  watt

Daya terima minimum antena 2 = -24,79 dBm = 0,0000033 watt

$$Axial\ ratio\ (numerik) = \frac{\sqrt{P_{watt\ Major} \times 377}}{\sqrt{P_{watt\ Minor} \times 377}} = \frac{\sqrt{10^{-3} \times 377}}{\sqrt{0,0000033 \times 377}} = 17,40 = 12,40\ dB.$$

Melalui persamaan diatas polarisasi antena 1 adalah Ellips dengan rentang  $3\ dB < AR < 40\ dB$ .



Gambar 23 Hasil Pengukuran Polarisasi Antena 3

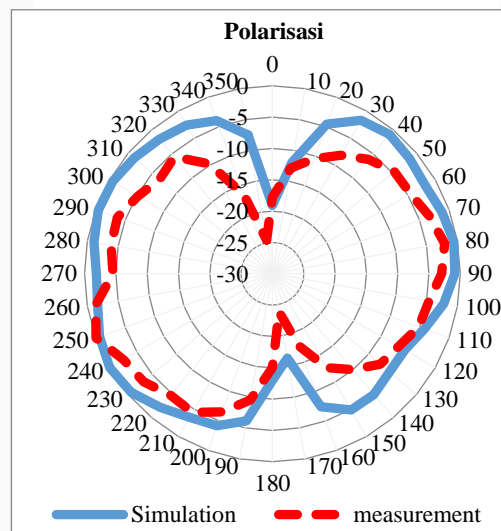
Pada Gambar 23 merupakan hasil pengukuran polarisasi Antena 3. Melalui persamaan (4.1), dihitung untuk pengukuran *axial ratio* dengan

Daya terima maksimum antena 2 = 0 dBm =  $10^{-3}$  watt

Daya terima minimum antena 2 = -24,03 dBm = 0,0000039 watt

$$Axial\ ratio\ (numerik) = \frac{\sqrt{P_{watt\ Mayor} \times 377}}{\sqrt{P_{watt\ Minor} \times 377}} = \frac{\sqrt{10^{-3} \times 377}}{\sqrt{0,0000039 \times 377}} = 16,01 = 12,04\ dB.$$

Melalui persamaan diatas polarisasi antena 1 adalah Ellips dengan rentang  $3\ dB < AR < 40\ dB$ .



Gambar 24 Hasil Pengukuran Polarisasi Antena 4

Pada Gambar 24 merupakan hasil pengukuran polarisasi Antena 4. Melalui persamaan (4.1), dihitung untuk pengukuran *axial ratio* dengan

Daya terima maksimum antena 2 = 0 dBm =  $10^{-3}$  watt

Daya terima minimum antena 2 = -24,03 dBm = 0,0000035 watt

$$Axial\ ratio\ (numerik) = \frac{\sqrt{P_{watt\ Mayor} \times 377}}{\sqrt{P_{watt\ Minor} \times 377}} = \frac{\sqrt{10^{-3} \times 377}}{\sqrt{0,0000035 \times 377}} = 16,90 = 12,27\ dB.$$

Melalui persamaan diatas polarisasi antena 1 adalah Ellips dengan rentang  $3\ dB < AR < 40\ dB$ .

Polarisasi dari 4 antena tersebut adalah ellips dengan perbandingan nilai antara hasil simulasi dan pengukuran untuk polarisasi dari antena tidak terlalu jauh, hal tersebut yang dapat disebabkan oleh beberapa faktor keakuratan dan presisi suatu antena saat pengukuran.

### 3. Gain

Pengukuran *gain* bertujuan untuk menentukan cakupan area dan jarak pancaran yang dapat dijangkau oleh suatu antenna dengan melalui daya yang ditransmisikan. Untuk menghitung nilai *gain* dapat melalui persamaan

$$G_{AUT} = P_{Trs} - P_{AUT} + Greff \quad (2)$$

dengan  $G_{AUT}$  adalah *gain* antenna yang akan diukur (dB),  $P_{Trs}$  adalah Daya yang diterima antenna referensi (dB),  $P_{AUT}$  adalah Daya yang diterima AUT (dB) dan Greff merupakan *gain* antenna referensi. Hasil pengukuran *gain* antenna dapat dilihat pada Tabel berikut.

**Tabel 7** Hasil Pengukuran *Gain*

Keterangan	Antena 1	Antena 2	Antena 3	Antena 4
Greff	2	2	2	2
$P_{Trs}$	-34.91	-34.91	-34.91	-34.91
$P_{AUT}$	-32.71	-32.66	-32.74	-32.68
Hasil gain (dB)	4,19	4,24	4,16	4,21

### 4.4 Perbandingan Hasil Pengukuran dengan Simulasi

**Tabel 8** Perbandingan Hasil Pengukuran dengan Simulasi

Parameter	VSWR	Return Loss	Gain (dB)	Bandwidth (MHz)	Pola Radiasi	Polarisasi	
Frekuensi	2,1 GHz (dengan rentang 1,975-2,225 GHz)						
Simulasi	1	1.18	-21.49	4.91	269	omnidirectional	ellips
	2	1.18	-21.49	4.91	269	bidirectional	ellips
	3	1.18	-21.49	4.91	269	omnidirectional	ellips
	4	1.18	-21.49	4.91	269	bidirectional	ellips
Pengukuran	1	1.04	-33.56	4,19	300	omnidirectional	ellips
	2	1.06	-30.28	4,24	300	bidirectional	ellips
	3	1.06	-30.21	4,16	340	omnidirectional	ellips
	4	1.05	-32.44	4,21	340	bidirectional	ellips

### 5. Kesimpulan

Kesimpulan dalam Tugas Akhir ini yang berjudul "Perancangan dan Realisasi Antena MIMO 4x4 Patch Sirkular Monopole" maka dapat disimpulkan:

1. Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran terdapat sedikit perbedaan. Akan tetapi, dari hasil keduanya telah memenuhi spesifikasi antenna yang telah dirancang sebelumnya.
2. Polarisasi yang dihasilkan saat proses simulasi adalah ellips.
3. Dengan metode menghilangkan setengah bagian *ground plane* maka dapat menghasilkan pola radiasi *omnidirectional*.
4. Perbedaan pola radiasi antara antenna 1 & 3 dengan antenna 2 & 4 dikarenakan susunan antenna yang digunakan sehingga mempengaruhi pola pancar suatu antenna.
5. *Mutual Coupling* telah terpenuhi seperti spesifikasi awal yaitu  $\leq -20$  dB.
6. *Bandwidth* telah memenuhi spesifikasi awal yaitu  $\geq 250$  MHz, dimana antenna tersebut dapat menjadi *transceiver*.



**REFERENSI**

- [1] Y. Rahayu, K. Alfikri, and R. T. Silalahi, "Perancangan Antena Dengan Circular Line Patch Dan Thick Line Untuk Lte Frekuensi 1.8 Ghz," *Sinergi*, vol. 21, no. 1, p. 59, 2017, doi: 10.22441/sinergi.2017.1.009.
- [2] S. H. Saputra, A. E. Jayati, and E. Erlinasari, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Circular Dengan Teknik Linier Array Untuk Frekuensi Wifi 2,4 Ghz," *Elektrika*, vol. 11, no. 1, p. 9, 2019, doi: 10.26623/elektrika.v11i1.1538.
- [3] C. Ahmadi, "Jumlah Antena Pada Sistem Mimo ( Multiple Input Multiple Output )," vol. 5, no. 1, pp. 37–48, 2015.
- [4] A. T. Hasani, "Desain Antena Lte Mimo  $4 \times 4$  Pifa ( Plannar Inverted – F Antenna ) Pada Frekuensi 2 , 3 Ghz," *Elektro, Jur. Tek. Ind. Fak. Teknol. Indones. Univ. Islam*, vol. 10, no. 2, 2018.
- [5] E. P. Manalu, H. Dasril, F. T. P. W, P. Studi, T. Elektro, and J. T. Elektro, "Analisis Sistem Pemancar Pada Pt . Media Khatulistiwa Televisi / KompasTV Pontianak," 2015.
- [6] Y. Sandi, "Perancangan Dan Analisa Circular Polarity Antenna Crosshair Waveguide Sebagai Penguat Wifi Adapter TP-Link TI-WN723n Pada Frekuensi 2,4 GHz," *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, vol. 2, no. 1, 2016.
- [7] H. Herudin, "Perancangan Antena Mikrostrip Frekuensi 2,6 GHz untuk Aplikasi LTE (Long Term Evolution)," *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 1, no. 1, p. 41, 2016, doi: 10.36055/setrum.v1i1.469.
- [8] Waluyo, A. Rizky, and Koesmarjianto, "Perancangan Dan Realisasi Antena MIMO Mikrostrip 4x4 Patch Circular Pada Frekuensi 2,4 GHz Untuk
- [9] U. B. E. wisnu. prabow@gmail. co. A.- Wisnu Eko P., Wahyu Adi Priyono, Ir., MT., and Dwi Fadilla K., ST., MT. Jurusan Teknik Elektro, "Pengaruh Multipath Fading Terhadap Performansi Pada Downlink Jaringan Cdma2000 1X Ev-Do Revision a," pp. 1–8, 2014.