

## Antena *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO) Array 1×4 *Axe Patch* Microstrip pada Frekuensi 2,4 GHz

Thaufiq Sabtiawan<sup>1</sup>, M. Reza Hidayat<sup>1</sup>, Yussi Perdana Saputera<sup>2</sup>, dan Nivika Tiffany Somantri<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

<sup>2</sup>Program Doktorat Ketahanan, Pascasarjana Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

[sabtiawan12@gmail.com](mailto:sabtiawan12@gmail.com), [mreza@lecture.unjani.ac.id](mailto:mreza@lecture.unjani.ac.id), [yussips@gmail.com](mailto:yussips@gmail.com), [nivika.tiffany@lecture.unjani.ac.id](mailto:nivika.tiffany@lecture.unjani.ac.id)

### Abstrak

Teknologi Antena MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) meningkatkan kinerja jaringan nirkabel dengan mengizinkan penggunaan beberapa antena transmisi dan *receiver* secara bersamaan. Antena MIMO menggunakan elemen antena dalam *array*, seperti antena mikrostrip circular, untuk meningkatkan *throughput* dan keandalan sinyal. Penelitian ini menyimulasikan dan mengembangkan antena mikrostrip *circular* menjadi MIMO 1×4 *axe* dengan *array*, beroperasi pada 2,4 GHz. Simulasi menunjukkan *return loss* (S11) -60,913 dB, *insertion loss* -50,439 dB, VSWR 1,001, *bandwidth* 116,3 MHz, dan *gain* 5,709 dBi. Hasil fabrikasi dan pengukuran mencapai *return loss* (S11) -61,69 dB, *insertion loss* -43,16 dB, VSWR 1,00, *bandwidth* 137,2 MHz pada frekuensi 2,4260 GHz. Meskipun ada pergeseran frekuensi sebesar 260 MHz antara hasil simulasi dan pengukuran, perancangan antena ini berhasil sesuai spesifikasi yang diinginkan.

Kata kunci: Antena, *Array*, *Axe*, *Circular*, MIMO

### Abstract

MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) Antenna Technology improves wireless network performance by allowing the use of multiple transmit and receive antennas simultaneously. MIMO antennas use antenna elements in an array, such as circular microstrip antennas, to increase signal throughput and reliability. This research simulates and develops a circular microstrip antenna into a 1×4 *axe* MIMO with array, operating at 2.4 GHz. The simulation shows return loss (S11) -60.913 dB, insertion loss -50.439 dB, VSWR 1.001, bandwidth 116.3 MHz, and gain 5.709 dBi. The results of fabrication and measurement achieve return loss (S11) -61.69 dB, insertion loss -43.16 dB, VSWR 1.00, bandwidth 137.2 MHz at a frequency of 2.4260 GHz. Even though there is a frequency shift of 260 MHz between the simulation and measurement results, the design of this antenna is successful according to the desired specifications.

Keywords: Antenna, Array, Axe, Circular, MIMO

### 1. Pendahuluan

Dalam perkembangan teknologi perangkat telekomunikasi saat ini, antena MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) menjadi salah satu solusi untuk meningkatkan kinerja jaringan nirkabel (Indarwati, Ika Puspita, 2022) (Emilia & Mujirudin, 2013). Teknologi MIMO memungkinkan penggunaan beberapa elemen antena transmisi dan *receiver* secara simultan untuk meningkatkan *throughput*, kapasitas, dan keandalan sinyal (Budi dkk., 2017). Meskipun antena MIMO terdapat banyak manfaat, ada beberapa masalah yang perlu diatasi dalam implementasinya. Salah satunya adalah mencapai *gain* yang tinggi agar sinyal dapat diterima dengan baik dalam kondisi jaringan yang jauh dari stasiun basis (Faroqi dkk., 2018) dan *bandwidth* yang lebar penting untuk dapat mentransmisikan data dengan kecepatan tinggi dan mendukung banyak pengguna secara bersamaan (Muhidin dkk., 2020). Kemudian untuk mendukung semua itu diperlukan antena dengan *array* dan menyusun seperti antena *microstrip*, yang mana memiliki kelebihan dengan ukuran yang lebih fleksibel dibandingkan dengan antena lainnya (Fitri Amillia dkk., 2023). Sebagai hasilnya, antena *microstrip circular* menjadi salah satu *patch* dasar yang digunakan untuk pembuatan antena MIMO.

Adapun penelitian terkait dengan antena MIMO dan antena *microstrip patch circular* yang sudah dilakukan diantaranya. Penelitian pertama mempelajari tentang MIMO dan penambahan slot untuk meambah frekuensi dari frekuensi 2,4 GHz menjadi 5,52 GHz untuk wifi (Hidayat dkk., 2021). Penelitian kedua mempelajari antena *microstrip patch circular* dengan hasil untuk *wireless* sensor (Sugiarto dkk., 2019). Penelitian ketiga adalah pengguna antena *microstrip* MIMO berbentuk kapak dengan sirkuit *quad band* yang dirancang menggunakan bahan dielektrik FR4 dengan kemampuan yang berbeda 2,4 GHz, 3,5 GHz, 5,8 GHz, dan 7,2 GHz untuk aplikasi jaringan nirkabel (Nafiza dkk., 2016). Penelitian ke empat adalah merancang antena *microstrip patch circular* 2x2 beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz untuk aplikasi WLAN (Authors, 2018). Penelitian kelima adalah merancang dan menganalisis antena

#### Info Makalah:

Dikirim : 08-30-23;

Revisi 1 : 11-06-23;

Diterima : 11-18-23.

#### Penulis Korespondensi:

Telp : -

e-mail : [mreza@lecture.unjani.ac.id](mailto:mreza@lecture.unjani.ac.id)

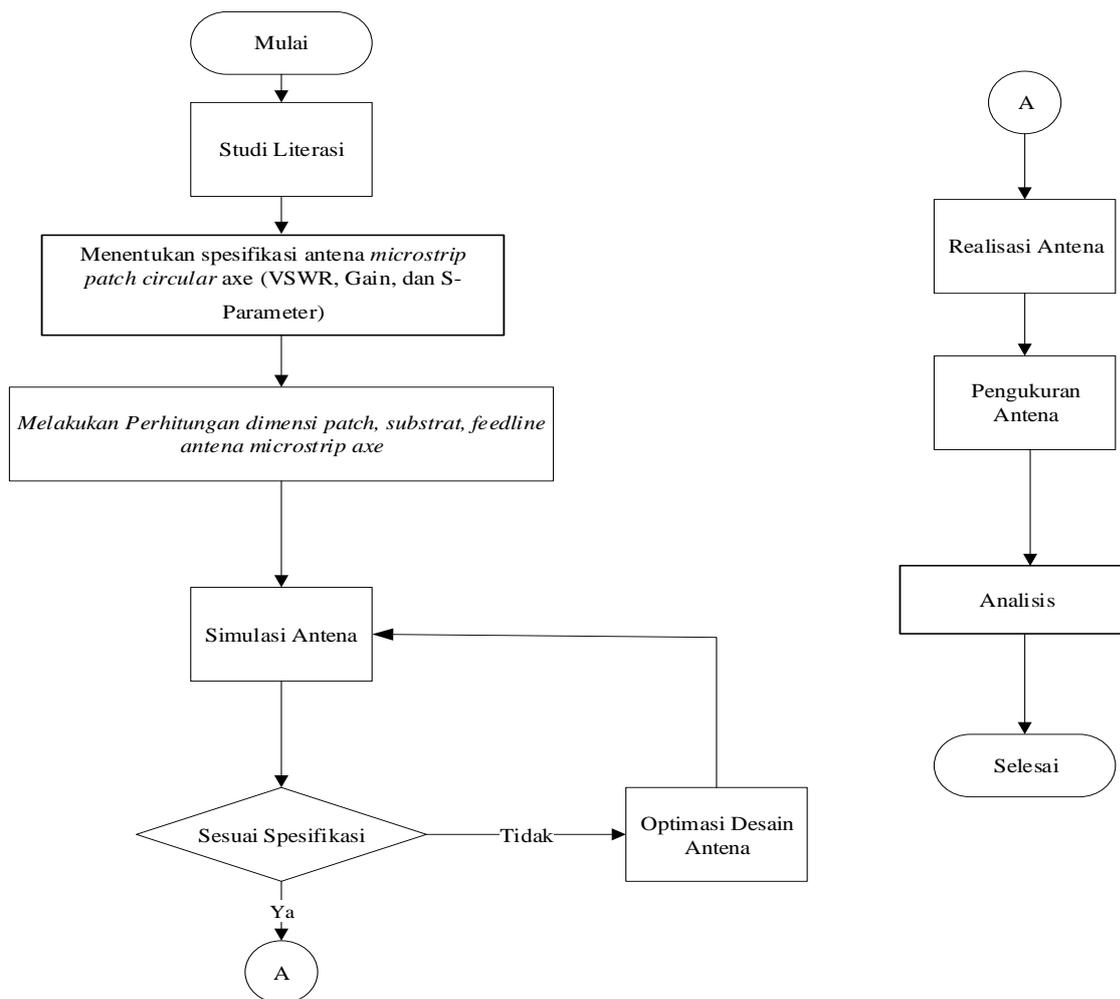
*microstrip* dipole dengan menggunakan frekuensi 2,4 GHz menggunakan teknologi *array* (Natasya dkk., 2022).

Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi dan pengukuran antena MIMO *array patch circular* dengan penambahan slot menjadi bentuk kapak (*axe*) untuk frekuensi 2,4 GHz. Simulasi dan pengukuran akan mencakup perancangan

antena MIMO dalam bentuk antena *microstrip axe array* MIMO 1×4. Melalui perbandingan hasil dari simulasi dan perancangan antena dengan frekuensi 2,4 GHz (Bagus dkk., 2003).

## 2. Metode

Perancangan antena *circular axe* MIMO dibuat dengan beberapa tahapan perancangan dapat dilakukan secara sistematis. Tahapan perancangan dilakukan dan jelaskan dengan diagram alir seperti pada gambar 1 bahwa dalam menentukan perancangan suatu antena harus menentukan spesifikasi antena terlebih dahulu. Setelah itu menentukan spesifikasi untuk mencari VSWR, Gain, dan S-Parameter. Selanjutnya menghitung dimensi *patch*, *substrat*, *feedline*, antena *microstrip axe* (*microstrip* kapak), kemudian disimulasikan dengan aplikasi CST Suite 2019. Setelah mendapatkan hasil dari simulasi dan tidak sesuai harapan akan mengoptimasi dan simulasi kembali dengan aplikasi CST suite 2019. Setelah mendapatkan hasil antena, kemudian diukur menggunakan VNA, dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Perencanaan Antena.

### 2.1. Spesifikasi antena

Seperti yang telah dilakukan pada diagram alir di atas spesifikasi antena harus ditentukan dengan mengukur standar aplikasi yang akan digunakan. Penentuan spesifikasi antena bertujuan agar antena yang disimulasikan dan dibuat memiliki sebuah nilai standar yang dipenuhi. Antena yang akan desain merupakan antena *microstrip circular* dengan bentuk *axe*, *single*, *single* MIMO, *array* MIMO 1×2, *array* MIMO 1×4, dengan spesifikasi pada tabel 1. Kemudian akan dilakukan pada antena dengan port 1 sebagai *transmitter* (pengirim) dan port 2 sebagai *receiver* (penerima).

Tabel 1. Spesifikasi Antena.

Parameter	Spesifikasi Wifi 802.11n
<i>Band</i> Frekuensi	2.2 GHz – 2.6 GHz
<i>Bandwidth</i>	≥ 100 MHz
VSWR	≤ 2
<i>Gain</i>	≥ 2 dBi
<i>Return loss</i>	≤ -10
Pola Radiasi	<i>Unidirectional</i>

## 2.2. Karakteristik Bahan

Pembuatan antena harus juga memilih bahan untuk dibuat dan material yang akan digunakan untuk pembuatan antena *microstrip* dengan bahan tembaga (*copper*). Material ini akan digunakan pada *patch* dan *groundplane* dan untuk *substart* menggunakan bahan material FR-4 epoxy. Karakteristik dari bahan-bahan bisa dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Bahan Antena.

Bahan	Kelebalan(mm)	Permitivitas <i>Relative</i> ( $\epsilon_r$ )
Tembaga ( <i>Copper</i> )	0,035	1
Dielektrik(FR-4 Epoxy)	1,6	4,3

## 2.3. Perhitungan Antena *circular*

Pada perancangan antena terdapat penentuan dimensi elemen peradiasi terlebih dahulu harus direncanakan berapa nilai frekuensi kerja yang diinginkan ( $f_r$ ), yaitu 2400 MHz → 2,4 GHz dengan nilai perambatan nilai bebas ( $c$ ) sebesar  $3 \times 10^8$  m/s, dengan menggunakan persamaan :

Kemudian dihitung besarnya radius ( $a$ ) elemen peradiasi antena *microstrip* dengan persamaan berikut

$$a = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[ \ln \frac{\pi F}{2h} \right] + 1,7726 \right\}^{1/2}} (cm) \quad (1)$$

Mencari F dengan persamaan (2.7) berikut:

$$F = \frac{8,791 \times 10^9}{fc\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

Untuk elemen peradiasi dengan frekuensi 2,4 GHz, didapatkan nilai dengan persamaan:

$$y_0 = 0,3d \quad (3)$$

Untuk perhitungan dimensi saluran transmisi *microstrip* dapat digunakan persamaan di bawah ini

$$W_0 = \frac{377}{Z_0} \times \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} (mm) \quad (4)$$

Sedangkan panjang saluran transmisi dapat dihitung dengan persamaan:

$$L_0 = \frac{1}{4} \lambda_d (m) \quad (5)$$

Lalu untuk menghitung saluran pencatu L dengan persamaan di bawah:

$$\beta = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (6)$$

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

Panjang saluran pencatu L, dilakukan dengan persamaan:

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{w}}} \right) \quad (8)$$

Setelah itu sisi panjang efektif di *feedline* pada sisi tepi peradiasi diperluas dengan penambahan  $\Delta L$  seperti yang terlihat pada persamaan sebelum itu cari  $\lambda_0$  menggunakan persamaan :

$$\Delta L = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (9)$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad (10)$$

Dari persamaan di atas diperoleh L

$$L = \frac{\Delta L}{4} \quad (11)$$

Tabel 3. Tabel Dimensi Ukuran dari *Patch* Antena Mikrostrip (Sebelum Optimasi).

Nama	Nilai(mm)	Deskripsi
a	17,65	<i>Patch</i>
lo	14,7	Panjang <i>feedline</i> 50 ohm
Yo	1,035	Jarak slot
wo	1,45	Lebar <i>feedline</i> 50 ohm

Pada tabel 3 terlampir dimensi dari ukuran *patch*, panjang *feedline*, jarak slot, dan lebar *feedline*. Ukuran ini didapatkan menggunakan persamaan matematis (1) – (11).

Tabel 3. Parameter Hasil Optimasi.

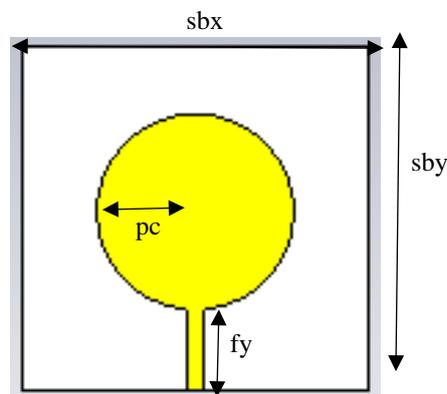
Nama	Nilai(mm)	Deskripsi
sbx	60	Lebar <i>Substrat</i> dan <i>Ground</i>
sby	60	Panjang <i>Substrat</i> dan <i>Ground</i>
pc	17,05	<i>Patch</i>
fx	3,1	Lebar <i>Feedline</i>
fy	35	Panjang <i>Feedline</i>
sbh	1,6	Ketebalan <i>Substrat</i> (fr-4)
ph	0,035	Ketebalan <i>Patch</i> (Copper)

Pada tabel 4 terlampir spesifikasi ukuran antena mikrostrip setelah optimasi. Optimasi dilakukan untuk mendapatkan spesifikasi antena merujuk ke tabel 1 setelah sebelumnya hasil simulasi dari ukuran pada tabel 3 hasilnya belum mencukupi.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Antena *Microstrip Circular*

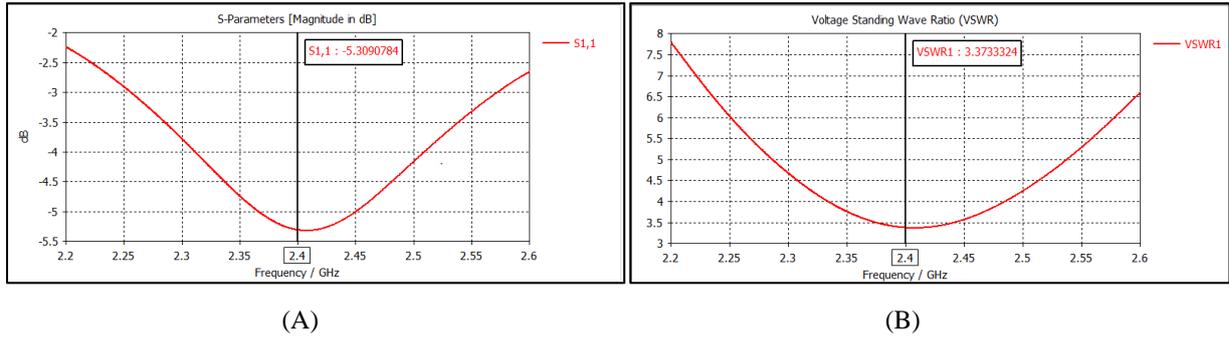
Berikut ini hasil antena *circular* yang sudah di optimasi, dengan ukuran yang sesuaikan, dan untuk hasil pada gambar 2 terdapat pada tabel 4.



Gambar 2. Desain Antena *Circular*.

##### 3.1.1. Hasil S-Parameter dan VSWR

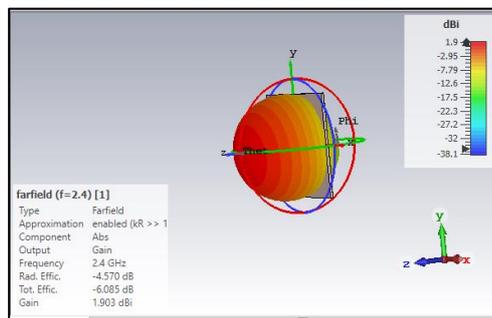
Dari hasil simulasi dengan aplikasi CST *Studio Suite* 2019 pada frekuensi 2,4 GHz dengan  $S_{11}$  (*return loss*) -5,3 tanpa adanya *bandwidth*. Lalu hasil yang didapatkan dari VSWR adalah di 3,37. Nilai tersebut tidak sesuai dengan standar yang diinginkan dan tidak memenuhi kriteria standar yang menetapkan VSWR harus dibawah 2.



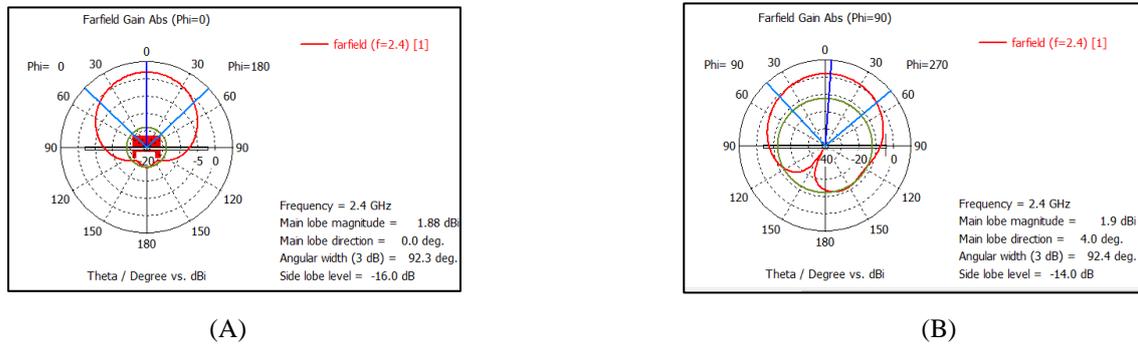
Gambar 3. S-Parameter Antena *Circular*.

### 3.1.2. Hasil Pola Radiasi dan *Gain*

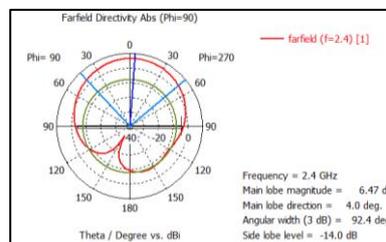
Dari hasil yang didapatkan untuk *gain* dan polarisasi dari sudut elevasi dan *azimuth* seperti pada gambar 5.



Gambar 4. Hasil *Farfield Gain*.



Gambar 5. (A) Azimuth, dan (B) Elevasi *Microstrip Circular*.

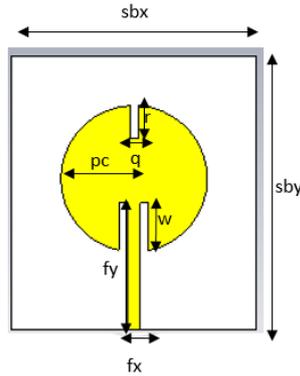


Gambar 6. Hasil *Directivity* Antena *Circular*.

Nilai yang didapatkan *gain* untuk antena *circular* adalah 1,9 dBi dan dari yang dihasilkan untuk sudut *azimuth* 1,88 dBi, elevasi 1,9 dBi, dan untuk *directivity* 6,47 dBi.

### 3.2. Antena *Microstrip Circular Axe*

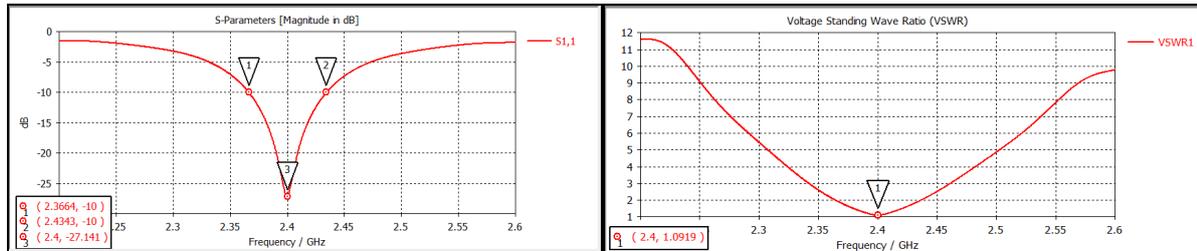
Dikarenakan antena yang tidak sesuai dengan yang diinginkan yaitu *return loss* turun pada frekuensi 2,4 GHz, maka dilakukan optimasi dengan tujuan mendapatkan frekuensi yang diinginkan, dan hasilnya antena *circular* ditambahkan beberapa slot dan membentuk seperti kapak (*axe*) yang dimana bertujuan untuk mendapatkan  $S_{11}$  yang baik dan sesuai standar.



Gambar 7. Desain Antena *Circular Axe*.

### 3.2.1. Hasil S-Parameter dan VSWR

Dari hasil yang sudah disimulasikan didapatkan pada frekuensi 2,4 GHz dengan  $S_{11}$  (*return loss*) -27,141 dengan *bandwidth* 67,9 MHz. Lalu hasil yang didapatkan dari VSWR adalah di 1,091 pada frekuensi 2,4 GHz. Nilai VSWR pada frekuensi 2,4 GHz telah mencapai atau bahkan lebih baik dari nilai yang diinginkan yaitu kurang dari atau sama dengan  $\leq 1,5$ . Hal ini menunjukkan antena telah berhasil di atur dengan baik mencapai performa yang sesuai standar dan mengurangi efek *return loss* pada frekuensi tersebut.

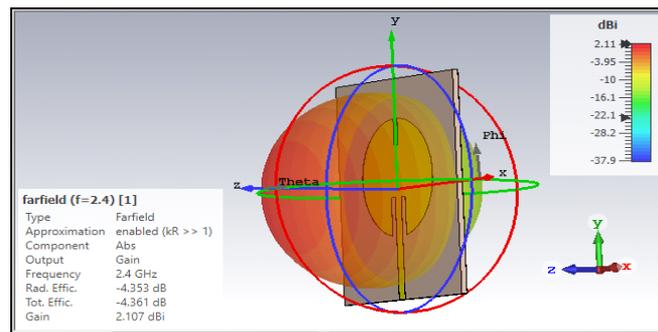


(A) (B)

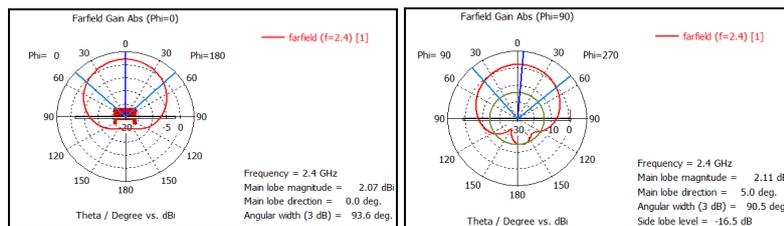
Gambar 8. (A) S-Parameter, dan (B) VSWR Antena *Circular Axe*.

### 3.2.2. Hasil Pola Radiasi dan *Gain* Antena *Circular Axe*

Dari hasil yang didapatkan untuk *gain* dan polarisasi dari sudut elevasi dan *azimuth* seperti pada gambar 10.

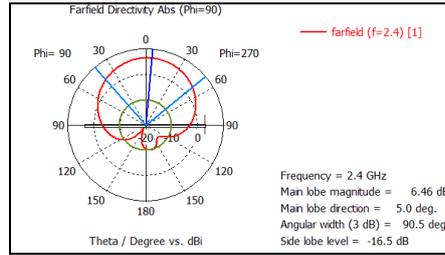


Gambar 9. Hasil *Farfield Gain* Antena *Circular Axe*.



(A) (B)

Gambar 10. (A) *Azimuth*, dan (B) *Elevasi Microstrip* Antena *Circular Axe*.

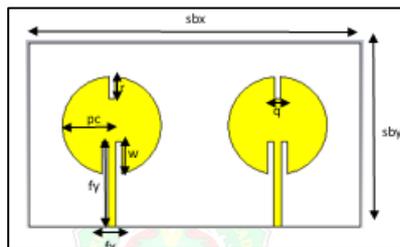


Gambar 11. Hasil *Directivity* Antena *Circular Axe*.

Nilai yang didapatkan *gain* untuk antena *circular* adalah 2,107 dBi dan dari yang dihasilkan untuk sudut *azimuth* 2,07 dBi dan elevasi 2,11 dBi dan *directivity* 6,45 dBi. Dalam percobaan sudah dilihat hasil dari *azimuth* dan elevasi pada gambar 10 yang mana *azimuth* disebut juga sudut horizontal (datar) antara arah hadap dari antena dan objek yang ingin ditangkap pengukuran *azimuth* biasanya dilakukan pada nol derajat (0°), pola radiasi *azimuth* berbentuk omnidireksional, yaitu radiasi merata di sekitar antena. Lalu untuk elevasi disebut juga sudut vertikal dengan mengukur ketinggian suatu objek terhadap suatu titik referensi. Pola radiasi elevasi berbentuk *isotropic* yaitu merata ke segala arah, dan *derecivity* disebut juga dengan ukuran dari kemampuan antena untuk mengarahkan daya radiasi ke arah tertentu yang mana pada gambar 11 hasil yang didapatkan 6,46 dBi.

### 3.3. Antena MIMO *Circular Axe*

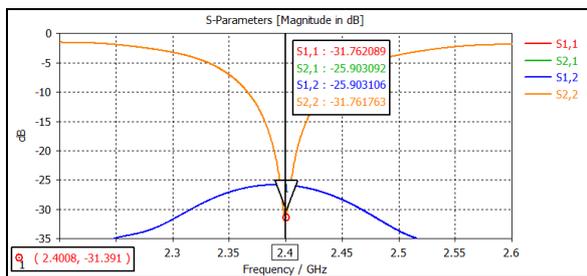
Dikarenakan belum mendapatkan hasil yang diinginkan maka dari itu dalam percobaan ini untuk melihat apakah terjadi perubahan bila antena dijadikan MIMO.



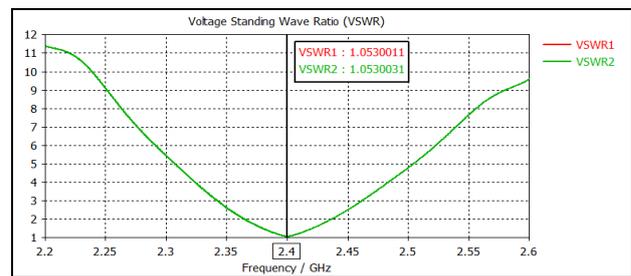
Gambar 12. Desain Antena *Circular Axe* MIMO.

#### 3.3.1. Hasil S-Parameter

Dari hasil yang sudah disimulasikan didapatkan pada frekuensi 2,4GHz dengan  $S_{11}$  (*return loss*) -27,141 dan  $S_{21}$  (*insertion loss*) -25,903 dengan *bandwidth* 67,9 MHz. Lalu hasil yang didapatkan dari VSWR adalah di 1,053 pada frekuensi 2,4 GHz. Nilai VSWR pada frekuensi 2,4 GHz telah mencapai atau bahkan lebih baik dari nilai yang diinginkan yaitu kurang dari atau sama dengan  $\leq 1,5$ . Hal ini menunjukkan antena telah berhasil di atur dengan baik mencapai performa yang sesuai standar dan mengurangi efek *return loss* pada frekuensi tersebut.



(A)

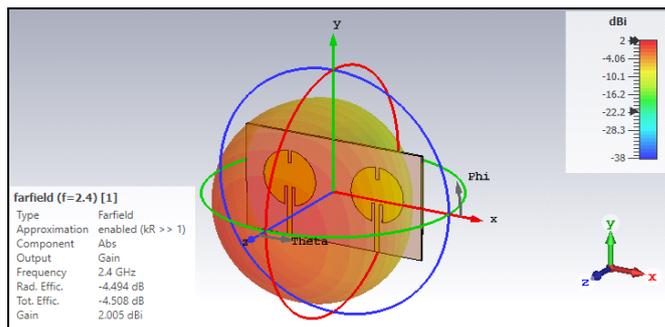


(B)

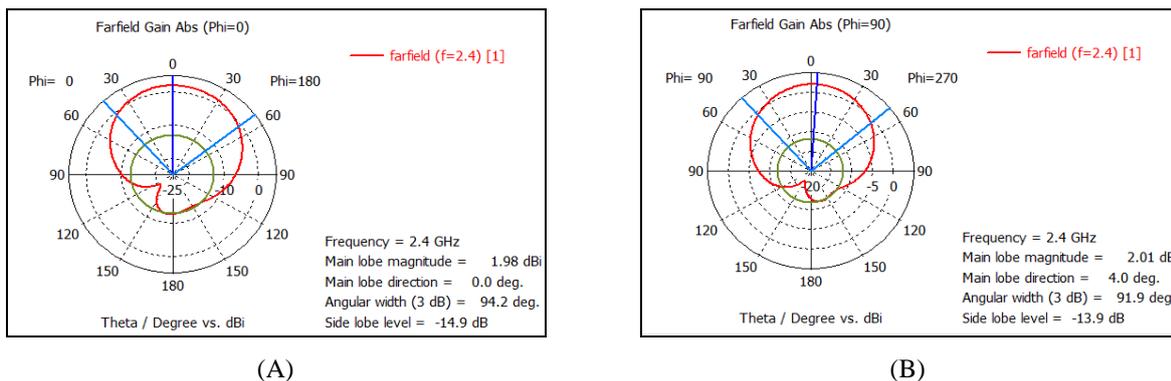
Gambar 13. (A) S-Parameter, dan (B) VSWR Antena *Circular Axe* MIMO.

#### 3.3.2. Hasil Pola Radiasi dan *Gain* Antena MIMO *Circular Axe*

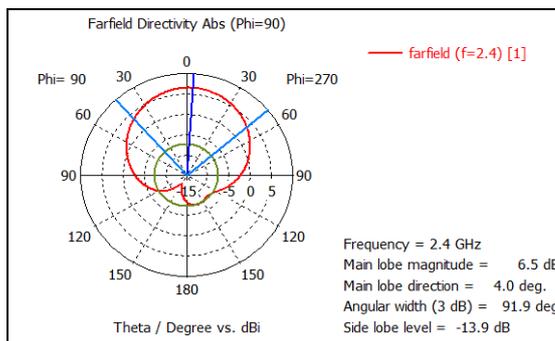
Dari hasil yang didapatkan untuk *gain* dan polarisasi dari sudut *elevasi* dan *azimuth* seperti pada gambar 15.



Gambar 14. Hasil *Farfield Gain* Antena *Circular Axe* MIMO.



Gambar 15. (A) Azimuth, dan (B) Elevasi *Microstrip* Antena *Circular Axe* MIMO.

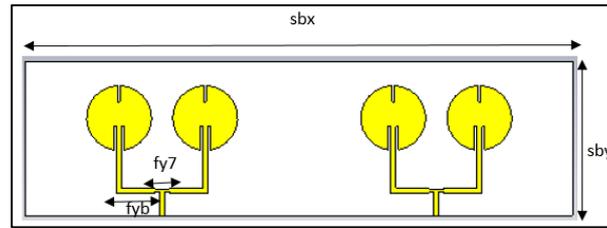


Gambar 16. Hasil *Directivity* Antena *Circular Axe* MIMO.

Nilai yang didapatkan *gain* untuk antena *circular axe* MIMO adalah 2,005 dBi dan dari yang dihasilkan untuk sudut *azimuth* 1,98 dBi dan elevasi 2,01 dBi dan *directivity* 6,5 dBi. Dalam percobaan sudah dilihat hasil dari *azimuth* dan *elevasi* pada gambar 15 yang mana *azimuth* disebut juga sudut horizontal (datar) antara arah hadap dari antena dan objek yang ingin ditangkap pengukuran *azimuth* biasanya dilakukan pada nol derajat(0°), pola radiasi *azimuth* berbentuk omnidireksional, yaitu radiasi merata di sekitar antena. Lalu untuk *elevasi* disebut juga sudut vertikal dengan mengukur ketinggian suatu objek terhadap suatu titik referensi. Pola radiasi *elevasi* berbentuk *isotropic* yaitu merata ke segala arah, dan *directivity* disebut juga dengan ukuran dari kemampuan antena untuk mengarahkan daya radiasi ke arah tertentu yang mana pada gambar 16 hasil yang didapatkan 6,5 dBi.

### 3.4. Antena Array MIMO 1×2 *Circular Axe*

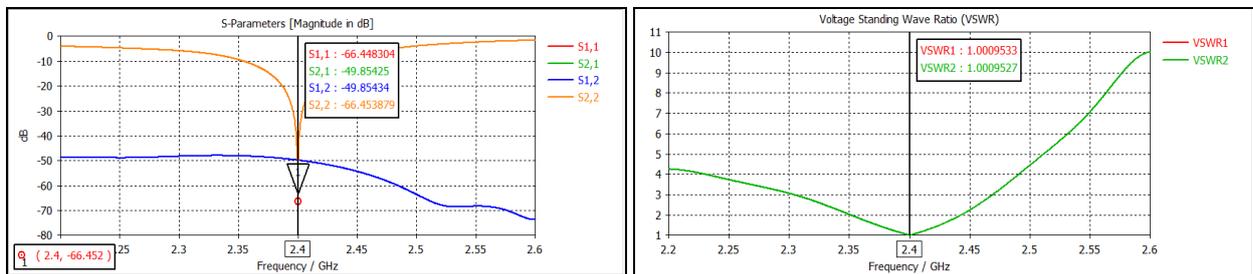
Dikarenakan masih belum mendapatkan hasil yang diinginkan sesuai dengan yang telah dipelajari di teori bila ditambahkan *patch* atau di *array* kan itu akan menambah *gain*.



Gambar 17. Desain Antena Array MIMO 1×2 Circular Axe.

### 3.4.1. Hasil S-Parameter

Dari hasil yang sudah disimulasikan didapatkan pada frekuensi 2,4 GHz dengan  $S_{11}$  (*return loss*) -22,8 dan  $S_{21}$  (*insertion loss*) -39,772 dengan *bandwidth* 75,8 MHz. Lalu hasil yang didapatkan dari VSWR adalah di 1,156 pada frekuensi 2,4 GHz. Nilai VSWR pada frekuensi 2,4 GHz telah mencapai atau bahkan lebih baik dari nilai yang diinginkan yaitu kurang dari atau sama dengan  $\leq 1,5$ . Hal ini menunjukkan antena telah berhasil di atur dengan baik mencapai performa yang sesuai standar dan mengurangi efek *return loss* pada frekuensi tersebut



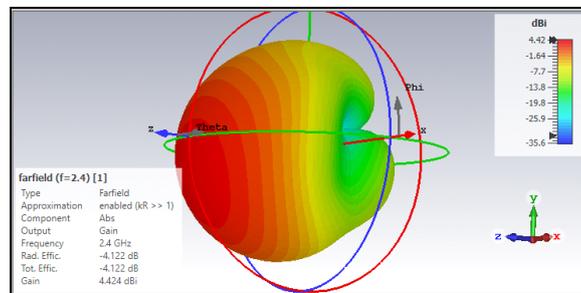
(A)

(B)

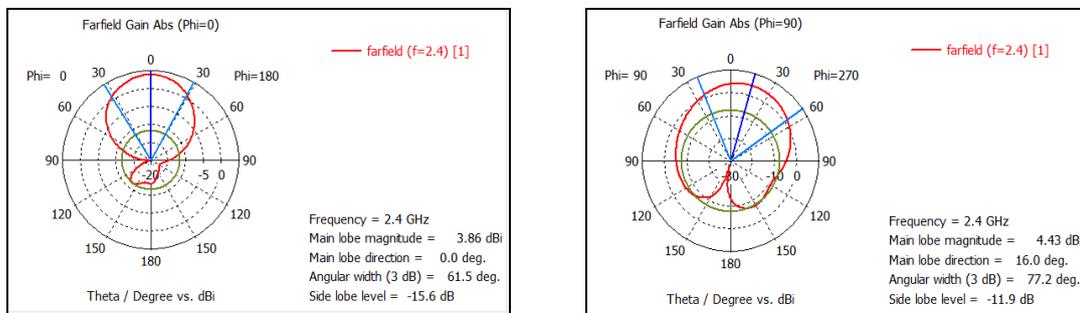
Gambar 18. S-Parameter Antena Array MIMO 1×2 Circular Axe.

### 3.4.2. Hasil Pola Radiasi dan Gain Antena Array MIMO 1×2 Circular Axe

Dari hasil yang didapatkan untuk *gain* dan polarisasi dari sudut elevasi dan *azimuth* seperti pada gambar 20.



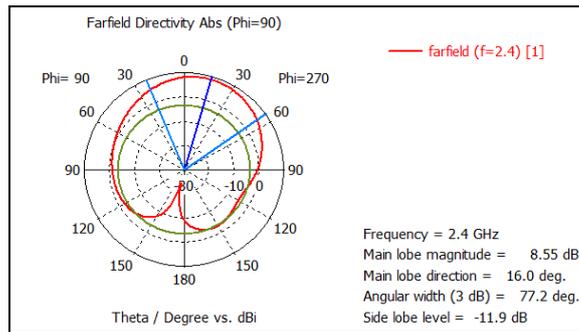
Gambar 19. Hasil Farfield Gain Antena Array MIMO 1×2 Circular Axe.



(A)

(B)

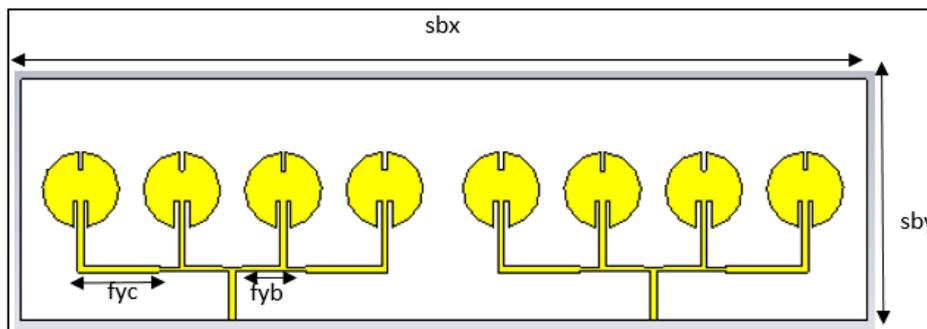
Gambar 20. (A) Azimuth, dan (B) Elevasi Microstrip Antena Array MIMO 1×2 Circular Axe.



Gambar 21. Hasil Directivity Antena Array MIMO 1×2 Circular Axe.

Nilai yang didapatkan *gain* untuk antena array MIMO 1×2 circular axe adalah 4,31 dBi dan dari yang dihasilkan untuk sudut *azimuth* 3,64 dBi dan *Elevasi* 4,32 dBi. Dalam percobaan sudah dilihat hasil dari *azimuth* dan elevasi pada gambar 20 yang mana *azimuth* disebut juga sudut horizontal (datar) antara arah hadap dari antena dan objek yang ingin ditangkap pengukuran *azimuth* biasanya dilakukan pada nol derajat (0°), pola radiasi *azimuth* berbentuk omnidireksional, yaitu radiasi merata di sekitar antena. Lalu untuk *elevasi* disebut juga sudut vertikal dengan mengukur ketinggian suatu objek terhadap suatu titik referensi. Pola radiasi *elevasi* berbentuk isotropic yaitu merata ke segala arah, dan *derektivitas* disebut juga dengan ukuran dari kemampuan antena untuk mengarahkan daya radiasi ke arah tertentu yang mana pada gambar 21 hasil yang didapatkan 8,55 dBi.

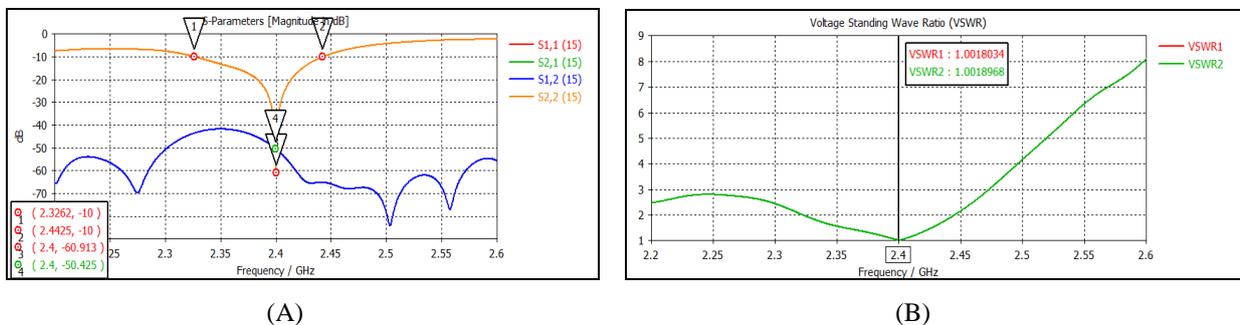
### 3.5. Antena Array MIMO 1×4 Circular Axe



Gambar 22. Desain Antena Array MIMO 1×4 Circular Axe.

#### 3.5.1. Hasil S-Parameter

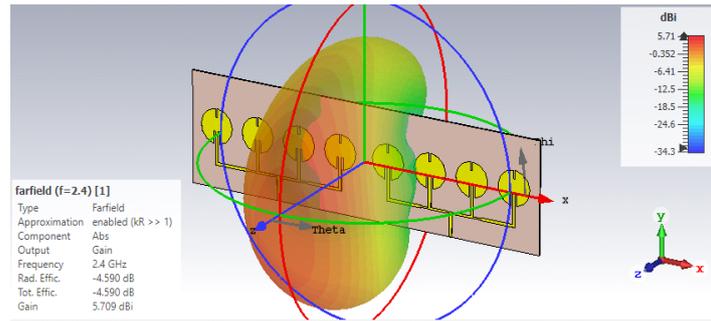
Dari hasil yang sudah disimulasikan didapatkan pada frekuensi 2,4GHz dengan  $S_{11}$  (*return loss*) -60,913 dan  $S_{21}$  (*insertion loss*) -50,425 dengan *bandwidth* 116,3 MHz. Lalu hasil yang didapatkan dari VSWR adalah di 1,001 pada frekuensi 2,4 GHz. Nilai VSWR pada frekuensi 2,4 GHz telah mencapai atau bahkan lebih baik dari nilai yang diinginkan yaitu kurang dari atau sama dengan  $\leq 1,5$ . Hal ini menunjukkan antena telah berhasil di atur dengan baik mencapai performa yang sesuai standar dan mengurangi efek *return loss* pada frekuensi tersebut.



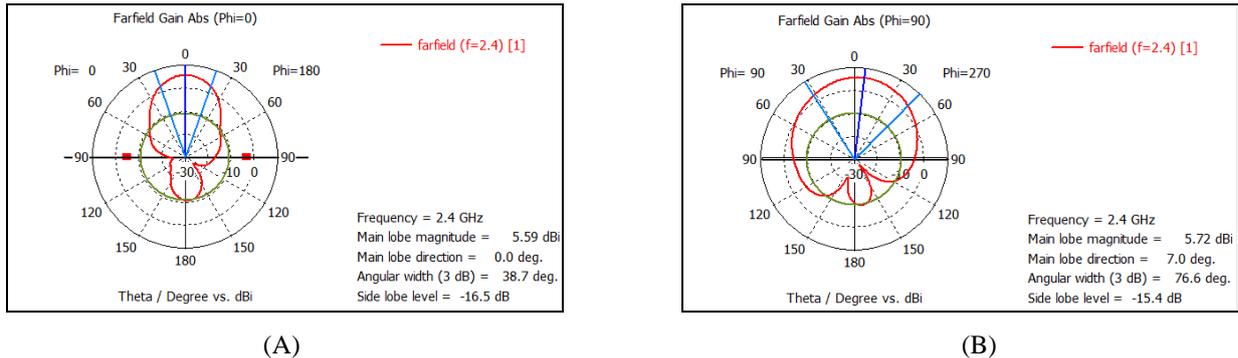
Gambar 23. S-Parameter Antena Array MIMO 1×4 Circular Axe.

#### 3.5.2. Hasil Pola Radiasi dan Gain Antena Array MIMO 1×4 Circular axe

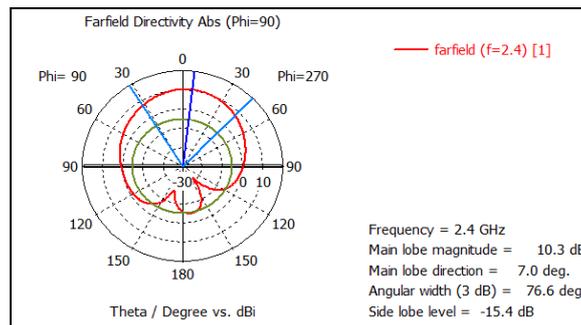
Dari hasil yang didapatkan untuk *gain* dan polarisasi dari sudut elevasi dan *azimuth* seperti pada gambar 25.



Gambar 24. Hasil *Farfield Gain* Antena Array MIMO 1×4 *Circular Axe*.



Gambar 25. (A) *Azimuth*, dan (B) *Elevasi* *Microstrip* Antena Array MIMO 1×4 *Circular Axe*.



Gambar 26. Hasil *Directivity* Antena Array MIMO 1×4 *Circular Axe*.

Nilai yang didapatkan *gain* untuk antena array MIMO 1×4 *circular axe* adalah 5,709 dBi dan dari yang dihasilkan untuk sudut *azimuth* 5,59 dBi dan elevasi 5,72 dBi. Dalam percobaan sudah dilihat hasil dari *azimuth* dan elevasi pada gambar 25 yang mana *azimuth* disebut juga sudut horizontal (datar) antara arah hadap dari antena dan objek yang ingin ditangkap pengukuran *azimuth* biasanya dilakukan pada nol derajat (0°), pola radiasi *azimuth* berbentuk omnidireksional, yaitu radiasi merata di sekitar antena. Lalu untuk elevasi disebut juga sudut vertikal dengan mengukur ketinggian suatu objek terhadap suatu titik referensi. Pola radiasi elevasi berbentuk *isotropic* yaitu merata ke segala arah, dan *directivity* disebut juga dengan ukuran dari kemampuan antena untuk mengarahkan daya radiasi ke arah tertentu yang mana pada gambar 26 hasil yang didapatkan 10,3 dBi.

### 3.6. Hasil Percobaan pada simulasi CST

Dari hasil percobaan yang sudah dilakukan telah didapatkan frekuensi kerja dan spesifikasi parameter yang diinginkan dengan mengubah beberapa parameter seperti nilai dari *substrat*, *feeder*, *patch*, dan ukuran dari slot tambahan. Dalam beberapa tahap dari mulai *single circular – array* MIMO 1×4 untuk mendapatkan hasil yang diinginkan pada tabel 5 sebagai berikut:

Tabel 5. Parameter Hasil Percobaan.

Parameter	Single Circular	Single axe	MIMO Single axe	Array MIMO 1×2 axe	Array MIMO 1×4 axe
Frekuensi(GHz)	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Return loss (dB)	-5,309	-27,141	-31,762	-66,44	-60,913
Insertion loss (dB)	0	0	-25,903	-49,85	-50,425
VSWR	3,37	1,0919	1,053	1,0009	1,001
Bandwidth (MHz)	0	67,9	68,3	86,4	116,3
Gain (dBi)	1,9	2,107	2,005	4,42	5,709

Dalam awal percobaan antena *single circular* yang belum ditambahkan slot sangatlah sulit untuk mendapatkan hasil  $S_{11}$ , VSWR, *gain*, dan *bandwidth* yang sesuai dengan spesifikasi pada frekuensi 2,4 GHz. Setelah percobaan antena *single circular axe* masih belum mendapatkan hasil yang diinginkan maka ditambahkan sebuah slot dan di optimasi kembali seluruh parameter. Lalu setelah di amati dari perubahan akhirnya didapatkan hasil dengan  $S_{11}$  bernilai -27,141 dB, VSWR bernilai 1,0919, *bandwidth* 67,9 MHz, dan *gain* 2,107 dB. Hal ini terjadi karena perubahan impedansi yang berasal dari perubahan slot akan mempengaruhi medan elektromagnetik.

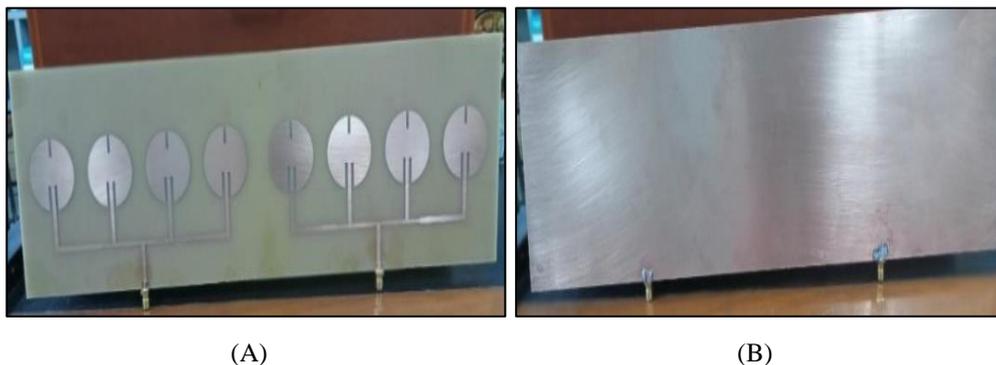
Selanjutnya mengenai hasil dari antena *single circular axe* belum mendapatkan hasil *bandwidth* yang diinginkan lalu membuat sebuah antena *single circular MIMO axe* untuk melihat perubahan yang terjadi, dan terlihat hasilnya dengan  $S_{11}$  bernilai -31,762 dB,  $S_{21}$  bernilai -25,903 dB, VSWR bernilai 1,053, *bandwidth* 68,3 MHz, dan *gain* 2,005 dB. Dari hasil yang diamati bahwa nilai  $S_{11}$ , VSWR dan *bandwidth* bertambah sedangkan *gain* mengurang karena terjadi saat perubahan dari *single axe* ke MIMO, *single axe* terjadi pada *bandwidth* bertambah karena masing-masing elemen antena beroperasi secara independen pada frekuensi yang sama maupun berbeda, kemudian *gain* menurun dikarenakan yang awalnya antena *single* biasanya lebih tinggi karena fokus daya sinyal ke arah tertentu lalu berpindah ke antena *single MIMO* terdapat beberapa elemen fisik yang beroperasi bersamaan dan setiap elemen membagi kontribusi pada pemancar dan penerima secara bersamaan.

Percobaan berlanjut dengan penambahan 1 *patch* menjadi antena *circular array MIMO 1×2 axe* yang bertujuan menambah *bandwidth* dan *gain* dan terlihat hasil yang dapatkan dengan *gain* menjadi 4,42 dB dan *bandwidth* menjadi 86,4 MHz. Berikut ini terjadi karena penggunaan *array MIMO* dengan dua elemen antena memungkinkan adanya pola radiasi yang lebih fokus dan efisien dibandingkan antena *MIMO single*.

Kemudian untuk mencapai hasil yang sesuai ditambahkan 2 *patch* menjadi antena *circular array MIMO 1×4 axe*, lalu hasil terlihat sesuai spesifikasi dengan nilai  $S_{11}$  bernilai -60,913 dB,  $S_{21}$  bernilai -50,425 dB, VSWR bernilai 1.001, *bandwidth* 116,3 MHz, dan *gain* 5,709 dB.

### 3.7. Hasil Antena yang sudah Difabrikasi

Dari Simulasi yang telah dilakukan dan didapatkan hasil antena *array MIMO 1×4* dengan menggunakan *patch circular axe* dengan frekuensi kerja,  $S_{11}$ ,  $S_{21}$ , VSWR, dan *bandwidth* yang sesuai dengan spesifikasi. Selanjutnya dilakukan fabrikasi untuk mengetahui perbandingan dengan antena yang sudah disimulasikan dengan menggunakan VNA (*Vector Network Analyzer*).



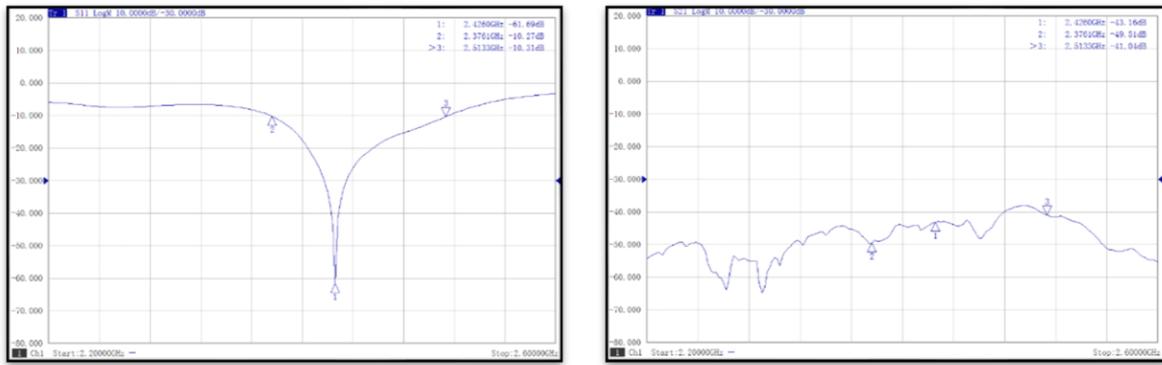
Gambar 27. Tampilan Antena dari Depan (A), dan Belakang (B).

Antena yang sudah difabrikasi akan dilakukan pengecekan dengan menggunakan VNA (*Vector Network Analyzer*) untuk mengetahui hasil dari antena seperti frekuensi kerja,  $S_{11}$ ,  $S_{21}$ , VSWR, *bandwidth*, dan pola radiasi.

### 3.8. Hasil Pengukuran Antena yang Telah Difabrikasi.

#### 3.8.1. Hasil S-Parameter

Berikut hasil pengukuran S-Parameter yang di dalamnya terdapat *return loss* dan *bandwidth* dengan menggunakan alat ukur VNA yang mana dengan *range* 2,2 GHz sampai 2,6 GHz dengan frekuensi tujuan 2,4 GHz.



Gambar 28 Hasil Pengukuran S-Parameter  $S_{11}$  dan  $S_{21}$ .

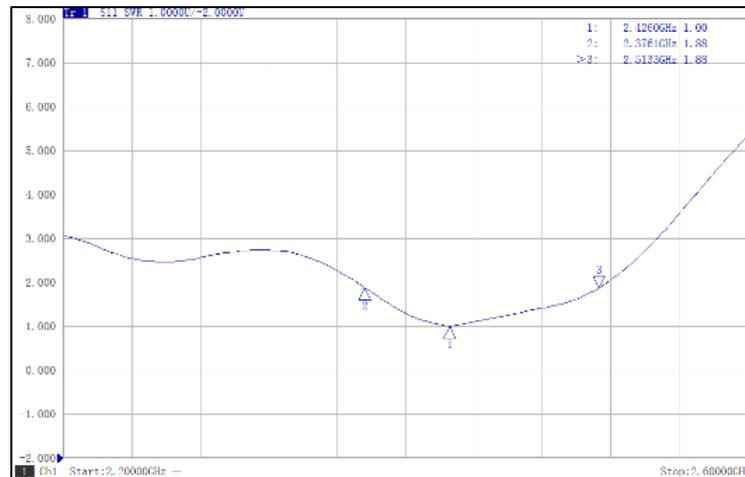
Tabel 6. Hasil Pengukuran S-Parameter.

S-Parameter	$S_{11}$	$S_{21}$
Frekuensi (GHz)	2,4260	2,4260
Return loss (dB)	-61,69	-
Insertion loss (dB)	-	-43,16

Hasil yang sudah di dapat terdapat pada tabel 6 yang mana terjadi pergeseran cukup signifikan dari hasil simulasi 2,4 GHz dan pada pengukuran 2,4260 GHz dengan *bandwidth* yang didapatkan sebesar 137,2 MHz

### 3.8.2. Hasil VSWR

Selanjutnya merupakan gambar hasil dari pengukuran VSWR yang menggunakan alat VNA dan dengan *range* 2,2 GHz sampai 2,6 GHz dengan frekuensi tujuan 2,4 GHz.

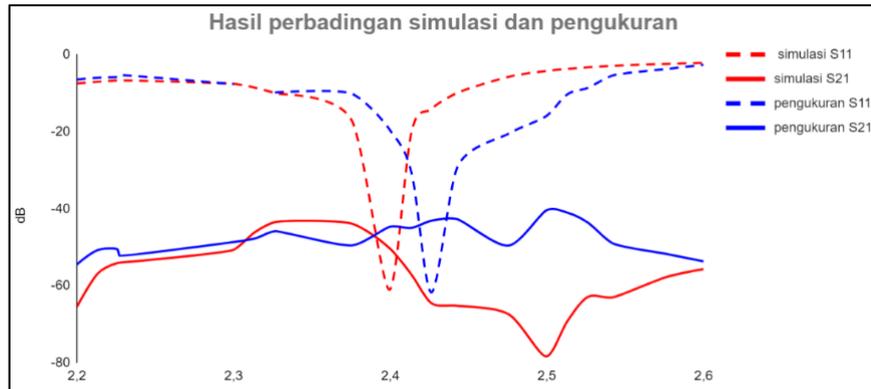


Gambar 29. Hasil VSWR.

Dari pengukuran yang telah dilakukan didapatkan hasil VSWR menggunakan VNA dengan frekuensi 2,4260 GHz yang didapatkan VSWR sebesar 1,00.

### 3.9. Hasil Analisis

Setelah dilakukan pengukuran S-Parameter dan VSWR antenna dengan menggunakan VNA didapatkan tabel perbandingan hasil simulasi dan pengukuran yang terdapat pada tabel 7 dan gambar 30.



Gambar 30. Hasil Perbandingan Simulasi dan Pengukuran.

Tabel 7. Hasil Perbandingan Simulasi dan Pengukuran.

Parameter	Simulasi	Pengukuran
Frekuensi(GHz)	2,4	2,4260
Returnloss(dB)	-60,913	-61,69
Insertion loss(dB)	-50,425	-43,16
VSWR	1,001	1,00
Bandwidth(MHz)	116,3	137,2

Dari hasil yang sudah dilakukan dengan menggunakan alat VNA terdapat perbedaan dari hasil walaupun sama menggunakan *range* frekuensi dari 2,2 - 2,6 GHz. Dari hasil simulasi diperoleh pada frekuensi 2,4 GHz *return loss* -60,913 dB, *insertion loss* -50,452 dB sedangkan untuk pengukuran *return loss* -61,69 dB, *insertion loss* -43,16 dB pada frekuensi 2,4260 GHz. Selanjutnya pada bagian VSWR yang mana pada simulasi antenna memperoleh 1,001 sedangkan pengukuran untuk mendapatkan 1,00. kemudian untuk *bandwidth* yang didapatkan pada simulasi 116,3 MHz sedangkan untuk simulasi sebesar 137,2 MHz.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dengan menggunakan frekuensi 2,4 GHz didapatkan hasil sebagai berikut: dalam penelitian perancangan antenna *array* MIMO 1x4 dengan variasi dimensi elemen *patch circular*, *axe*, dan *array*, disimpulkan bahwa perubahan dimensi memiliki dampak signifikan terhadap parameter antenna MIMO. Penyesuaian dimensi elemen-elemen tersebut mengakibatkan variasi dalam *return loss* ( $S_{11}$ ), *insertion loss* ( $S_{21}$ ), VSWR, *bandwidth*, pola radiasi, dan *gain*. Oleh karena itu, optimisasi dimensi elemen-elemen antenna menjadi kritis guna mencapai performa antenna *array* MIMO 1×4 yang optimal sesuai dengan kebutuhan aplikasi yang diinginkan. Selanjutnya hasil yang didapatkan dari pengukuran antenna *microstrip array* MIMO 1×4 *patch axe* dengan frekuensi yang didapat *return loss* ( $S_{11}$ ) -61,69 dB, *insertion loss* ( $S_{21}$ ) -43,16 dB, VSWR 1,00 dan *bandwidth* 137,2 MHz pada frekuensi 2,4260 GHz. Frekuensi bergeser sebesar 260 MHz dari hasil simulasi, walaupun begitu hasil dari pengukuran untuk parameter yang diukur sudah sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan.

### Daftar Notasi

MIMO	=	Multiple-Input Multiple-Output
VSWR	=	Voltage Standing Wave Ratio
WIFI	=	Wireless Fidelity
dB	=	Decibel
FC	=	Frekuensi Center
FDTD	=	Finite-Difference Time-Domain
dBi	=	Decibel Isotropic
MHZ	=	Mega Hertz
VNA	=	Vector Network Analyzer

### Daftar Pustaka

- Authors, P. (2018). *To Secure Your Paper As Per UGC Guidelines We Are Providing A Electronic DESIGN AND ANALYSIS OF 2 × 2 CIRCULAR MICRO-STRIP PATCH ANTENNA ARRAY FOR 2 . 4 GHZ WIRELESS COMMUNICATION APPLICATION. 07.*
- Bagus, I., Wily, N., Elektro, J. T., Teknik, F., Malang, U. B., Dahlan, E. A., & Kurniawan, D. F. (2003). *PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP CIRCULAR PATCH ARRAY EMPAT ELEMEN*

*DENGAN KONFIGURASI SYMMETRY PARALLEL FEED NETWORK UNTUK FREKUENSI KERJA 2 , 4 GHz.*

- Budi, I. M. P., Nugraha, E. S., & Agung, A. (2017). Perancangan Dan Analisis Antena Mikrostrip Mimo Circular Pada Frekuensi 2.35 GHz Untuk Aplikasi LTE. *Jurnal Infotel*, 9(1), 136. <https://doi.org/10.20895/infotel.v9i1.130>
- Emilia, R., & Mujirudin, M. (2013). Sistem Mimo dan Aplikasi Penggunaannya. *Rekayasa Teknologi*, 6(6), 14–20.
- Faroqi, A., Zaelani, F., Kariadinata, R., & Ramdhani, M. A. (2018). On the Design of Array Microstrip Antenna with S-Band Frequency for Radar Communication. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 288(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/288/1/012006>
- Fitri Amillia, Eko Setijadi, & Gamantyo Hendratoro. (2023). Subarray 4×4 untuk Antena MIMO 5G dengan Elemen yang Menerapkan Teknik Parasitic. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, 12(1), 8–14. <https://doi.org/10.22146/jnteti.v12i1.5310>
- Hidayat, M. R., Permana, R. A., & Sambasri, S. (2021). Konversi Antena Mimo 2x2 Frekuensi 2,4 Ghz Menjadi 5,5 Ghz Menggunakan Patch Bowtie Berbasis Dual Slot Segi Empat dan Single Slot Segitiga. *TELKA - Telekomunikasi Elektronika Komputasi dan Kontrol*, 7(2), 161–173. <https://doi.org/10.15575/telka.v7n2.161-173>
- Indarwati, Ika Puspita, dan A. D. A. (2022). *Electrical and Telecommunication Journal (ELTEC) Vol. 3, No. 2, Desember 2022*. 3(2), 1–15.
- Muhidin, A. K., Madiawati, H., Sulaeman, Y., & Kunci, K. (2020). *Desain Antena MIMO 2x2 Patch Rectangular untuk Komunikasi 5G pada Frekuensi 3 , 5 GHz dengan Peningkatan Gain Menggunakan Akrilik*. 26–27.
- Nafiza, N., Sreeja, B. S., Devi, R. C., & Radha, S. (2016). Novel axe-shaped circular microstrip quad band antenna. *Microwave and Optical Technology Letters*, 58(2), 399–402. <https://doi.org/10.1002/mop.29572>
- Natasya, U., Marpaung, J., Kusumawardhani, E., Imansyah, F., & Putra, A. S. L. (2022). *RANCANGAN SIMULASI DAN OPTIMASI ANTENA MIKROSTRIP DIPOLE 4 ELEMEN PADA FREKUENSI 2.4 GHz*. 2016.
- Sugiarto, S. K., Mujahidin, I., & Setiawan, A. B. (2019). 2,5 GHz Antena Mikrostrip Polarisasi Circular Model Patch Yin Yang untuk Wireless Sensor. *JEECAE (Journal of Electrical, Electronics, Control, and Automotive Engineering)*, 4(2), 297–300. <https://doi.org/10.32486/jeecae.v4i2.388>