

## STUDI ANALISIS ANTENA 2X2 MIMO MENGGUNAKAN KONFIGURASI SPACE POLARIZATION DIVERSITY

### ANALYTICAL STUDY 2X2 MIMO ANTENNA USING SPACE AND POLARIZATION CONFIGURATION

Muhammad Yatta Hasin<sup>1</sup> Bambang Sumajudin<sup>2</sup> Trasma Yunita<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>mythven@student.telkomuniversity.ac.id <sup>2</sup>sumajudin@telkomuniversity.ac.id

<sup>3</sup>trasmayunita@telkomuniversity.ac.id

#### Abstrak

Arsitektur MIMO sudah terbukti dapat menjadi cara yang sangat baik dalam memaksimalkan performa dan kapasitas dalam sistem nirkabel, tanpa terlalu banyak mempengaruhi biaya dalam penambahan *bandwidth* ataupun daya. Dengan ditambah dengan teknik *diversity*, sistem transmisi tersebut dapat mengatasi *multipath fading* yang biasa terjadi dalam sistem MIMO. Fitur ini menyebabkan MIMO dalam teknik *diversity* merupakan bagian yang tidak terpisahkan dalam teknologi nirkabel saat ini.

Pada tugas akhir ini, dipelajari teknik *diversity* gabungan dari *space diversity* dan *polarization diversity* serta bagaimana pengaruhnya dalam sistem MIMO. Didasari dari saran paper yang berjudul “Aspects on Space and Polarization Diversity in Wireless Communication System”.

Hasil dari tugas akhir ini didapatkan pengaruh penggunaan *space* dan *polarization diversity* pada antena MIMO. Pengaruh tersebut dilihat melalui parameter *gain*, *directivity*, dan *efficiency* antena, *S* parameter, dan koefisien korelasi. Teknik *diversity* mempengaruhi nilai koefisien korelasi yang menjadi lebih baik (lebih mendekati 0) dan *efficiency* yang lebih baik pula (nilai presentase yang lebih tinggi).

**Kata kunci :** MIMO, diversiy, space diversity, polarization diversity

#### Abstract

MIMO Architecture has been proven to be an effective way to maximize performance and capacity in wireless telecommunication system without using a lot of cost in additional bandwidth and/or power. Using an additional diversity technique, the transmission system can help to resolve multipath fading that usually happened in MIMO system. This feature (MIMO and Diversity technique) makes them become a part that can't be separate in wireless technology in modern time.

In this Final Task, studied Space diversity and Polarization diversity and how they affect the MIMO architecture, based on paper “Aspect on Space and Polarization Diversity in Wireless Communication System”.

The results of this final task show the influence of space and polarization diversity on the MIMO antenna. This influence is seen through the parameters *gain*, *directivity*, and *efficiency* of the antenna, *S* parameter, and correlation coefficient.

Diversity technique affects the correlation coefficient value which is better (closer to 0) and better efficiency (higher percentage value).

**Keywords:** MIMO, diversity, space diversity, polarization diversity

#### 1. Pendahuluan

##### 1.1 Latar Belakang

Pada *paper* sebelumnya yang berjudul “Aspects on Space and Polarization Diversity in Wireless Communication System”[1] dipelajari tentang *hybrid space* dan *polarization diversity*.

Dalam paper tersebut dapat disimpulkan bahwa penggabungan sistem *diversity* tersebut (*space* dan *polarization*) dapat melebihi performa sistem *diversity* tunggal. Namun dengan efek samping, yaitu seiring dengan meningkatnya koefisien korelasi dan XPD (*cross-polar discrimination*), performa sistem *hybrid* ini menurun. Sehingga pada *paper* tersebut mengestimasi dan menyarankan untuk selanjutnya mempelajari tentang MIMO yang menggunakan sistem *hybrid* tersebut dalam pengirim dan penerima.

Sistem MIMO menggunakan banyak antena baik dalam pengirim atau penerima. Dalam sistem MIMO, performa dan kapasitas dalam sistem nirkabel dapat dimaksimalkan tanpa mengganggu biaya dari *bandwidth* ataupun perangkat keras.

Selain dalam *paper* diatas, penelitian sejenis [2], [3] tentang penggunaan *diversity* pada MIMO menyimpulkan *diversity* mengoptimalkan kualitas sinyal antena dalam sistem MIMO dengan pengaruhnya terhadap korelasi sinyal yang tidak terhindarkan karena banyaknya jalur transmisi dalam MIMO.

## 1.2 Rumusan Masalah

Tugas akhir ini berumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh penggunaan *space* dan *polarization diversity* pada MIMO ?
2. Seberapa besarkah pengaruh penggunaan *space* dan *polarization diversity* terhadap koefisien korelasi dan *efficiency* masing-masing antena?

## 1.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini ialah mengetahui pengaruh penggunaan *space* dan *polarization diversity* dalam mengatasi efek yang ada dalam sistem antena MIMO, dilihat dari parameter koefisien korelasi dan *efficiency* antena.

## 1.4 Batasan Masalah

Berikut ini Batasan masalah dalam tugas akhir ini :

- Antena yang digunakan bersifat statis.
- Antena di *receiver* dan *transmitter* memiliki spesifikasi yang sama.
- Dibuat hanya pada simulasi *software*.
- Dianalisis hanya pada parameter *gain*, *directivity*, *efficiency* dan S Parameter.

## 1.5 Metode Penelitian yang Akan Dilakukan

Metode yang dilaksanakan oleh penulis pada tugas akhir ini adalah :

1. Studi literatur model MIMO dan SPD.

Studi literatur bertujuan untuk mengumpulkan berbagai referensi yang berhubungan dengan sistem MIMO dan *Space and Polarization Diversity*. Referensi yang digunakan berasal dari beberapa jurnal, buku, dan *paper*.

2. Perancangan skema antena dari sistem MIMO dan SPD

Perancangan skema antena ini bertujuan untuk menjadi landasan penulis dalam pembuatan simulasi. Selanjutnya pembuatan simulasi ini akan berdasarkan skema antena ini.

3. Perancangan simulasi dari skema antena sistem MIMO dan SPD

Simulasi bertujuan untuk melihat bagaimana hasil dari perancangan tersebut. Serta mengetahui hasil dan perbandingan dari pengaruh *Space* dan *Polarization Diversity* dalam sistem MIMO.

## 1.6 Struktur Penulisan

Buku Tugas Akhir ini terdiri atas 5 bab. Bab 1 pendahuluan, bab 2 dasar teori, bab 3 perancangan sistem, bab 4 hasil simulasi dan analisis, serta bab 5 kesimpulan dan saran.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Diversity

*Diversity* secara umum memiliki arti kondisi dari banyaknya variasi atau variabel. Konsep dasar *diversity* ialah mentransmit sinyal melalui beberapa cabang jalur independen untuk mendapatkan sinyal independen yang tidak berkorelasi. Keuntungan dari penggunaan *diversity* ialah perlindungan dari *fading* karena kemungkinan sinyal yang diterima memiliki *fading* yang kecil. [4] Teknik *diversity* dikategorikan berdasarkan variasi “cabang” dalam jalur transmisinya, yaitu : *time diversity*, *frequency diversity*, *space/spatial diversity*, dan *polarization diversity*.

Diversity digunakan dalam sistem MIMO karena dapat meminimalisir efek *mutual coupling* yang terjadi tanpa harus menambah jumlah elemen perangkat

**2.1.1 Diversity Gain**

Diversity gain merupakan suatu parameter untuk menunjukkan efektifitas diversity. Diversity gain bisa didefinisikan sebagai peningkatan Signal to Noise Ratio (SNR) ataupun penurunan Bit Error Rate (BER) dari penggabungan sistem diversity dalam antenna, dibandingkan dengan tidak menggunakan sistem diversity ataupun perbedaan besarnya parameter diversity[5].

Secara matematis, diversity bisa ditampilkan sebagai berikut :

$$DG = \frac{(SNR)c}{(SNR)r} \tag{2.1}$$

Dimana “c” dan “r” digunakan untuk kombinasi dan referese. (sesudah dikombinasikan dengan single element). Diversity gain juga dapat dihubungkan dengan koefisien korelasi. Korelasi antara diversity gain dengan koefisien korelasi dapat ditunjukkan sebagai berikut :

$$DG = 10\sqrt{1 - |\rho|^2} \tag{2.2}$$

Dimana DG adalah Diversity Gain , ρ adalah Koefisien Korelasi.

Dari rumus tersebut, terlihat bahwa semakin kecil koefisien korelasi, semakin tinggi diversity gain nya.[6]

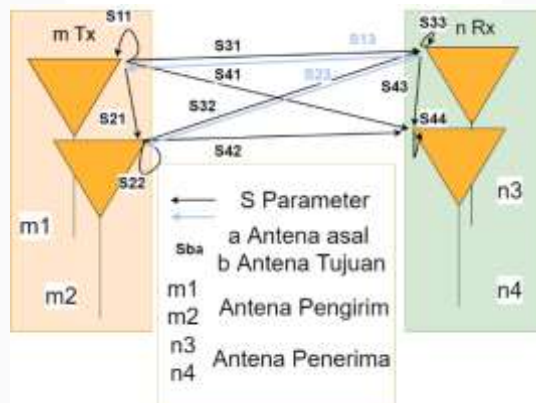
**A. Koefisien Korelasi**

Koefisien korelasi menyatakan kesamaan karakteristik antara sinyal yang diterima dari masing masing antenna dalam sistem MIMO. Koefisien korelasi bisa menjadi parameter untuk kualitas kanal. Semakin kecil nilai koefisien korelasi, maka kapasitas sinyal akan semakin besar. Nilai koefisien korelasi ialah dari 0, tidak memiliki kesamaan. Hingga 1, karakteristik sinyal yang sama[7].

Koefisien korelasi dapat dihitung dari S parameter dengan menggunakan persamaan :

$$\rho = \frac{|S_{11}S_{13} + S_{31}S_{33}|^2}{(1 - |S_{11}|^2 - |S_{31}|^2)(1 - |S_{33}|^2 - |S_{13}|^2)} \tag{2.3}$$

ρ



Dimana ρ adalah Koefisien Korelasi,,S<sub>11</sub>,S<sub>13</sub>,... adalah S Parameter pengirim dan penerima.

Gambar 2.1 S Parameter

**B.Mutual coupling**

Mutual coupling didefinisikan sebagai bagian dari energi datang pada suatu atau kedua elemen antenna yang dapat dihamburkan kembali pada arah yang berbeda[8].

Dalam sistem MIMO, sinyal yang ditransmisikan oleh beberapa elemen antenna idealnya independen atau tidak berkorelasi, namun pada kenyataanya arus induksi pada suau antenna menghasilkan tegangan tertentu pada antenna. Menyebabkan penurunan peforma antenna itu sendiri. Sehingga diperlukan nilai mutual coupling yang sekecil mungkin.

**2.1.2 Polarization Diversity**

Polarisasi digunakan dalam *diversity* karena keuntungannya yang tidak memerlukan ekstra *bandwidth* ataupun penambahan komponen keras untuk mendapatkan unkorrelasi sinyal yang diharapkan.[9]

#### A.Polarisasi Antena

Polarisasi antena adalah arah orientasi medan elektrik. Polarisasi gelombang berkaitan dengan orientasi vektor medan listrik yang dibangkitkan saat pemancaran. Jika arah tidak ditentukan, maka polarisasi merupakan polarisasi pada arah maksimum.[10]. Polarisasi diklasifikasikan berdasarkan arah vektor elektromagnetiknya, yaitu : linear, *circular*, dan elips.

Polarisasi linear terjadi karena suatu gelombang tersebut memiliki vektor medan magnetik yang selalu berorientasi pada garis lurus yang sama pada setiap waktu. Sedangkan polarisasi melingkar dan elips memiliki orientasi melingkar dan elips pada satuan waktunya. [8]

#### B.Truncated edge

Salah satu cara untuk merubah polarisasi antena menjadi sirkular ialah dengan cara *truncated edge*. *Truncated edge* memotong *patch* dengan sudut 45 dan 315 yang akan menyebabkan arus permukaan yang berputar searah atau berlawanan jarum jam sehingga menghasilkan gelombang LHCP atau RHCP.[11]

#### C.Distribusi Arus

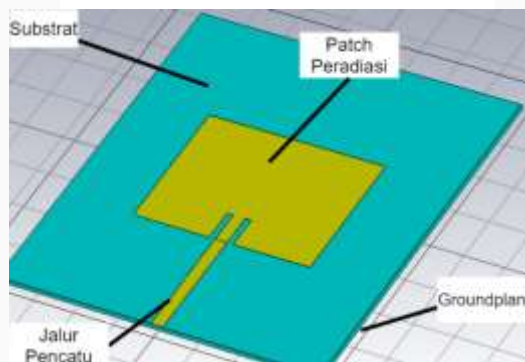
Distribusi arus dapat menunjukan bagaimana arah polarisasi sebuah antena. Karena polarisasi merupakan arah vektor medan listrik, distribusi arus dapat dijadikan suatu parameter untuk menentukan arah polarisasi suatu antena[9].

#### 2.1.3 Space Diversity

*Space diversity* merupakan teknik dasar dalam meningkatkan isolasi pada antena MIMO. Variasi dari jarak antar antena peradiasi digunakan dalam *space diversity* untuk mendapatkan de-korelasi atau *mutual coupling* yang rendah.[12]

#### 2.2 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip biasa terdiri dari sepasang lapisan konduktor paralel yang dipisahkan suatu medium dielektrik atau dikenal sebagai substrat. Pada susunan ini, lapisan konduktor atas atau *patch* berfungsi sebagai sumber radiasi dimana energi elektromagnetik menyusur tepian dari sisi *patch* kedalam substrat. Sedangkan sisi bawah bertindak sebagai bidang *ground*, mengembalikan



kembali energi melalui substrat ke udara bebas.

**Gambar 2.2** Struktur Antena Mikrostrip

Secara fisik *patch* terbuat dari konduktor tipis yang merupakan bagian suatu panjang gelombang yang membentuk luas, paralel dengan bidang *ground*. Bentuk *patch* dapat berupa bentuk seperti segiempat, lingkaran, segitiga dan sebagainya.[13]

#### 2.2.1 Parameter Antena Mikrostrip

Pada Tugas akhir ini, parameter antena mikrostrip MIMO yang diamati adalah *gain* dan *directivity* antenna, polarisasi antena, serta S Parameter antenna.

### A. Gain dan Directivity Antena

*Gain* atau penguatan merupakan perbandingan intensitas radiasi maksimum suatu antena terhadap dengan intensitas radiasi maksimal antena referensi dengan daya *input* yang sama.[10] Besarnya *gain* dinyatakan dalam satuan dB terhadap antena referensi. Atau dapat juga dinyatakan dalam satuan dBi.

$$G = \frac{U_m}{U_{mr}} = \frac{\text{Intensitas radiasi maks. suatu antena}}{\text{Intensitas radiasi maks. antena referensi dengan daya input sama}} \quad (2.4)$$

*Directivity* antena dapat didefinisikan sebagai perbandingan intensitas radiasi maksimum suatu antena terhadap intensitas radiasi antena terhadap arah lainnya.. Hubungan *gain* dan *directivity* antena dapat menghasilkan nilai efisiensi antena tersebut dengan persamaan:

Dimana  $e$  adalah Efisiensi,  $G$  adalah *Gain* (dB) dan  $D$  adalah *Directivity*.

### B. S Parameter Antena

$S$  parameter atau bisa juga disebut *scattering parameter* merupakan suatu koefisien yang

$$e = \frac{G}{D} \quad (2.5)$$

mengambarkan baliknya atau terpantulnya sinyal dalam antena yang mentransmit terhadap antena itu sendiri ataupun terhadap antena lainnya. Secara fungsi matriks, contoh  $S$  parameter dari 2 port dapat dituliskan sebagai berikut[14]:

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

Dimana  $s_{11}$  dan  $s_{22}$  adalah koefisien refleksi port 1 dan 2, serta  $s_{21}$  dan  $s_{12}$  adalah koefisien transmisi alur maju (dari port 1 ke port 2) dan alur balik (dari port 2 ke port 1).

### 2.3 MIMO

Dalam radio, *Multiple-input dan multiple-output*, (MIMO) adalah metode untuk memperbanyak kapasitas *link* radio menggunakan banyak antena transmisi dan penerima untuk mengeksplorasi propagasi *multipath*. Persamaan matematis dalam MIMO dapat dirumuskan sebagai berikut[15] :

Untuk MIMO  $M \times N$

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{H}(t)\mathbf{s}(t) + \mathbf{n}(t) \quad (2.7)$$

Dimana  $M$  adalah jumlah elemen/antena pengirim,  $N$  adalah jumlah elemen/antena penerima,  $\mathbf{r}(t)$  adalah sinyal terima,  $\mathbf{H}(t)$  adalah  $M \times N$  kanal matriks,  $\mathbf{s}(t)$  adalah sinyal kirim, dan  $\mathbf{n}(t)$  adalah noise sinyal.

*Multiple input multiple output* antena telah terbukti dapat menambah kapasitas kanal dalam sistem nirkabel. Dalam merancang kanal antena MIMO, secara garis besar diasumsikan koefisien dari kanal satu dengan yang lainnya independen dan terdistribusi secara merata[16]

MIMO dengan kapasitas kanal yang lebih baik daripada antena sebelumnya (single element pada input dan output) sudah menjadi elemen penting dari standar komunikasi nirkabel masa kini, termasuk penggunaannya dalam sistem IEEE 802. 11n(Wi-Fi), IEEE 802. 11ac(Wi-Fi), HSPA+(3G), WiMAX(4G) dan LTE(4G LTE). [17]

### 3. Pembahasan

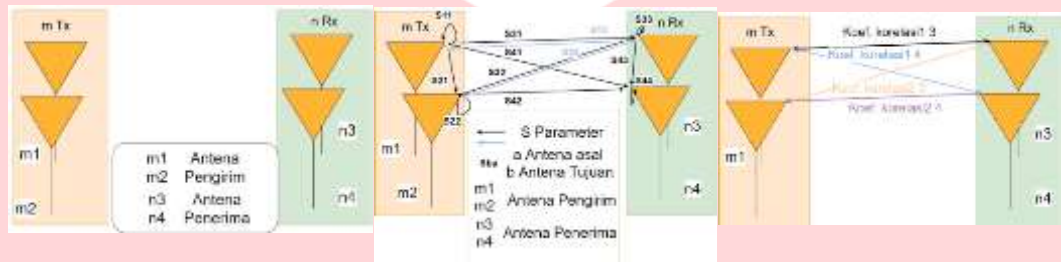
Pada tugas akhir ini, akan disimulasikan 3 konfigurasi untuk *space diversity* dan 4 konfigurasi untuk *polarization diversity* dan menentukan bagaimana konfigurasi yang paling baik dari gabungan keduanya.

Setiap elemen antena (kecuali Konfigurasi Polarisasi 3 dan 4 karena dibutuhkan *truncated edge* untuk menjadi polarisasi *circular*) yang digunakan dalam setiap konfigurasi memiliki dimensi dan konfigurasi yang sama.

3 konfigurasi *space diversity* yang digunakan dalam tugas akhir ini dinamakan sebagai berikut : Konfigurasi *Space 1* (dengan luas 100 x 100), Konfigurasi *Space 2* (dengan luas 200 x

200), dan Konfigurasi *Space 3* (dengan luas 300 x 300). Sedangkan 4 konfigurasi *polarization diversity* dinamakan sebagai berikut : Konfigurasi Polarisasi Linear 1( Horizontal Vertikal *mirror*), Konfigurasi Polarisasi Linear 2 (Vertikal Horizontal Vertikal Horizontal) , Konfigurasi Polarisasi *Circular 3* (RH LH RH LH), dan Konfigurasi Polarisasi *Circular 4*(LH RH LH RH).

Berikut untuk keterangan posisi antenna, S parameter, dan nama koefisien korelasi di setiap simulasi konfigurasi. Baik untuk konfigurasi berdasarkan *space* ataupun berdasarkan polarisasi.



**Gambar 4.1** Posisi Antena, S Parameter dan Nama Koefisien pada setiap Konfigurasi

**4.1 Hasil Simulasi Konfigurasi Berdasarkan Space**

**4.1.1 S Parameter**

Berikut hasil simulasi untuk S parameter di konfigurasi *Space Diversity*

**Tabel 4.1** Tabel Hasil S Parameter *Space Diversity*

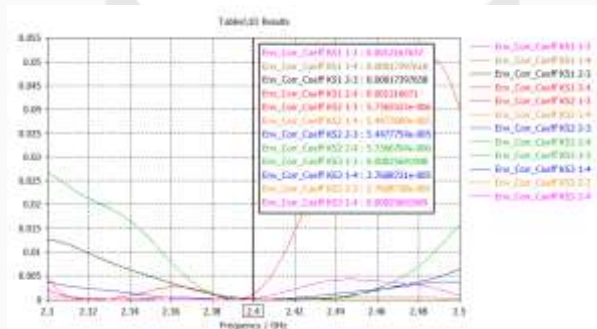
S Parameter Antena		S 11, 22	S 21	S 31, 42		S 41, 32
KS 1	BW Atas	2.389 (-16.036)	2.3 (-32.058)	2.3 (-19.813)	2.439 (-16.017)	2.3 (-30.328)
	BW Bawah	2.407 (-16.048)	2.5 (-32.247)	2.349 (-16.017)	2.5 (-22.821)	2.5 (-30.918)
KS 2	BW Atas	2.378 (-16.062)	2.3 (-40.492)	2.3 (-24.058)		2.3 (-33.648)
	BW Bawah	2.404 (-16.049)	2.5 (-42.224)	2.5 (-25.987)		2.5 (-34.563)
KS 3	BW Atas	2.382 (-16.091)	2.3 (-52.849)	2.3 (-27.716)		2.3 (-38.137)
	BW Bawah	2.4052 (-16.032)	2.5 (-52.673)	2.5 (-30.165)		2.5 (-40.585)

BW Paling lebar di setiap S parameter

Dilihat dari hasil tersebut, S parameter refleksi (S11 dan S22) memiliki *working bandwidth* yang baik (memiliki nilai dB maksimum -16dB) paling lebar di Konfigurasi *Space 2*. Namun, Untuk S parameter sejajar (S31 dan S42) serta S parameter *crossing* (S41 dan S32), walaupun semuanya memiliki lebar *working bandwidth* yang sama, memiliki nilai dB paling baik di Konfigurasi *Space 3*.

**4.1.2 Koefisien Korelasi**

Berikut hasil simulasi untuk koefisien korelasi di konfigurasi *Space Diversity*



**Gambar 4.5** Grafik Perbandingan Koefisien Korelasi *Space Diversity*

Dilihat dari hasil tersebut, Konfigurasi Space 3 memiliki nilai koefisien korelasi yang paling baik dari keseluruhan konfigurasi. Koefisien korelasi antara antenna 1 3 dan 2 4 (crossing antenna) pun memiliki nilai yang lebih baik daripada antara antenna 1 4 dan 2 3 (antena sejajar) di semua konfigurasi.

**4.1.3 Gain dan Directivity**

Berikut hasil simulasi untuk *gain* dan *directivity* di konfigurasi *Space Diversity*

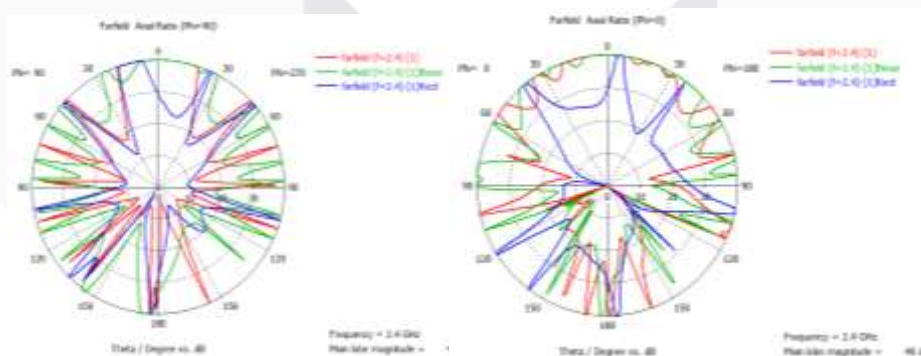
**Tabel 4.2** Tabel Hasil *Gain* dan *Directivity Space Diversity*

KS	Antena 1				
	Frequency	G	Gdbi	Directivity	Effeciency
KS 1	2,3	0,99904385	-0,00415	2,64888832	0,3771559
	2,4	1,1995813	0,790297	3,26166946	0,36778138
	2,5	0,94677443	-0,23753	2,90340219	0,32609138
KS 2	2,3	2,14782791	3,319995	4,9220295	0,43637039
	2,4	2,5346909	4,03925	5,34523242	0,47419657
	2,5	2,34166747	3,695252	5,35122202	0,4375949
KS 3	2,3	2,30620551	3,62898	5,14751705	0,4480229
	2,4	2,44618987	3,884902	5,27418234	0,46380457
	2,5	2,07638457	3,173078	5,26440438	0,39441966
KS	Antena 2				
	Frequency	Gain	Gdbi	Directivity	Effeciency
KS 1	2,3	0,99904385	-0,00415	2,64888832	0,3771559
	2,4	1,1995813	0,790297	3,26166946	0,36778138
	2,5	0,94677443	-0,23753	2,90340219	0,32609138
KS 2	2,3	2,14782791	3,319995	4,9220295	0,43637039
	2,4	2,5346909	4,03925	5,34523242	0,47419657
	2,5	2,34166747	3,695252	5,35122202	0,4375949
KS 3	2,3	2,30620551	3,62898	5,14751705	0,4480229
	2,4	2,44618987	3,884902	5,27418234	0,46380457
	2,5	2,07638457	3,173078	5,26440438	0,39441966

Nilai *Efficiency* paling baik di setiap Konfigurasi dan antena

Dilihat dari tabel diatas, Setiap antena (*effeciency* di frekuensi 2.4 serta 2.5) paling baik di Konfigurasi *Space 2*. Menunjukkan *effeciency* tidak selalu lebih baik untuk volume antena yang semakin besar (tidak berbanding lurus). Perbedaan *effeciency* paling signifikan yang mempengaruhi ialah perbedaan *gain* di setiap konfigurasi dan frekuensi antena.

**4.1.3 Polarisasi**



**Gambar 4.7** Hasil *axial ratio* pada Phi = 0 dan Phi = 90



Dikarenakan polarisasi dipengaruhi oleh *directivity*, maka kedua antenna memiliki arah dan besaran polarisasi yang sama. *Directivity* yang semakin besar mengikuti volume antenna untuk setiap konfigurasi menyebabkan hasil *axial ratio* yang semakin lebar.

**4.2 Analisis Konfigurasi Berdasarkan Polarisasi**

**4.2.1 Analisis Polarization Diversity Linear**

Berikut hasil setiap parameter yang diamati untuk konfigurasi *Diversity* Polarisasi Linear

**A. S Parameter**

Berikut hasil simulasi untuk S parameter di Konfigurasi Polarisasi Linear

**Tabel 4.3** Tabel Hasil S Parameter Polarisasi Linear

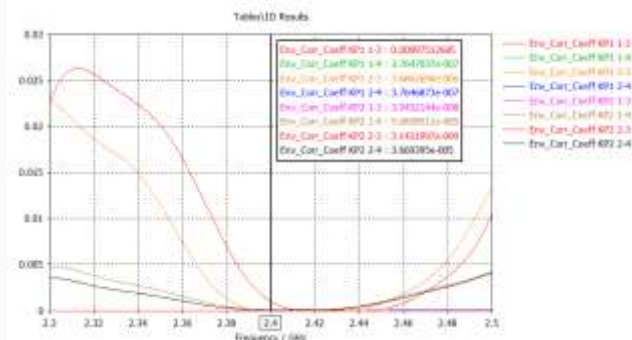
S Parameter Antena	S11	S21	S31	S41	S22	S32	S42	
KP 1	2,397 (-16,044)	-60,842	-25,844	-59,387	2,379(-16,102)	-59,308	-24,516	BW Atas 2,3 (dB)
	2,424(-16,090)	-54,787	-23,829	-53,518	2,404(-16,067)	-53,5683	-26,354	BW Bawah 2,5 (dB)
KP 2	2,397(-16,055)	-71,702	-69,989	-34,876	2,395(-16,045)	-36,321	-71,468	BW Atas 2,3 (dB)
	2,423(-16,093)	-55,176	-66,952	-31,757	2,422(-16,01)	-31,755	-65,071	BW Bawah 2,5 (dB)

BW S parameter paling lebar di setiap S parameter

Dapat dilihat dari tabel diatas, perbedaan S parameter refleksi (S11 dan S22) antara Konfigurasi Polarisasi 1 dengan Konfigurasi Polarisasi 2 tidak terlalu signifikan. Untuk S parameter *crossing* (S41 dan S32) memiliki lebar *bandwidth working* yang sama, namun nilai dB yang lebih baik berada di Konfigurasi Polarisasi 1. Sebaliknya, untuk S parameter sejajar (S31 dan S42) memiliki nilai dB yang lebih baik di Konfigurasi Polarisasi 2.

**B. Koefisien Korelasi**

Berikut hasil simulasi untuk koefisien korelasi di konfigurasi *Space Polarization* linear



**Gambar 4.9** Grafik Perbandingan Koefisien Korelasi *Polarization Diversity* Linear

Dilihat dari hasil tersebut, secara keseluruhan Konfigurasi Polarisasi 2 memiliki koefisien korelasi yang lebih baik daripada Konfigurasi Polarisasi 1. Hasil yang berbeda didapatkan di Konfigurasi Polarisasi linear ini, dimana antenna yg memiliki polarisasi yang sama dengan pengirimnya belum tentu koefisien korelasinya lebih baik.

**C. Gain dan Directivity**

Berikut hasil simulasi untuk *gain* dan *directivity* di Konfigurasi Polarisasi Linear.

**Tabel 4.4** Tabel Hasil *Gain* dan *Directivity* Polarisasi Linear

S Parameter	S11	S21	S31	S41	S22	S32	S42	
KP 3	2,451(-16,022)	-45,276	-30,658	-40,59	2,451(-16,01)	-40,589	-30,658	BW Atas 2,3(dB)
	2,478(-16,087)	-37,732	-19,453	-28,205	2,478(-16,009)	-28,205	-19,445	BW Bawah 2,5(dB)
KP 4	2,451(-16,015)	-45,027	-30,658	-40,589	2,451(-16,019)	-40,589	-30,658	BW Atas 2,3(dB)
	2,478(-16,001)	-38,174	-19,45	-28,204	2,478(-16,092)	-28,204	-19,45	BW Bawah 2,5(dB)

BW S parameter paling lebar di setiap S parameter

Dapat dilihat dari tabel diatas, Konfigurasi Polarisasi 2 memiliki nilai *efficiency* yang lebih baik di setiap frekuensinya. Baik itu untuk antenna 1 maupun antenna 2. Nilai *gain* lebih baik di Konfigurasi Polarisasi 1. Namun, nilai *directivity* yang lebih baik di Konfigurasi Polarisasi 2 daripada Konfigurasi Polarisasi 1 perbedaannya signifikan, menyebabkan nilai *efficiency* lebih baik di Konfigurasi Polarisasi 2.

**4.2.2 Analisis Polarization Diversity Circular**  
**A. S Parameter**

Berikut hasil setiap parameter yang diamati untuk konfigurasi *Diversity* Polarisasi *circular*

**Tabel 4.5** Tabel Hasil S Parameter Polarisasi *Circular*

		Antenna 1			Antenna 2		
		2,3	2,4	2,5	2,3	2,4	2,5
KP 1	G	2,127052457	2,44991	2,532306	2,120734	2,439579	2,32931
	Gdbi	3,277782006	3,891501	4,035162	3,264861	3,873149	3,672273
	Directivity	5,076707578	5,022623	5,473568	4,80014	5,133745	5,422177
	Efficiency	0,418982662	0,487775	0,462643	0,441807	0,475205	0,429589
KP 2	G	2,049452613	2,472263	2,482761	2,140309	2,53111	2,59458
	Gdbi	3,11637881	3,930946	3,949349	3,304765	4,03311	4,14067
	Directivity	4,878572387	5,028038	5,299321	5,208562	5,082344	5,392072
	Efficiency	0,420092693	0,491695	0,468506	0,410921	0,49802	0,481184

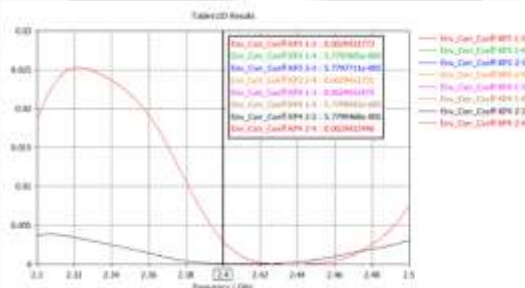
Dapat dilihat dari tabel diatas, S parameter refleksi memiliki nilai yang

Efficiency paling baik di setiap konfigurasi dan setiap antenna

sama. Nilai S parameter *crossing* maupun sejajar di Konfigurasi Polarisasi 3 lebih baik, walaupun perbedaan nilainya tidak terlalu signifikan. Bahkan bisa dibilang sama.

**B. Koefisien Korelasi**

Berikut hasil simulasi untuk koefisien korelasi di konfigurasi *Space Polarization circular*



**Gambar 4.12** Grafik Perbandingan Koefisien Korelasi *Polarization Diversity Circular*

Dilihat dari hasil tersebut, Konfigurasi Polarisasi 3 dan Konfigurasi Polarisasi 4 memiliki nilai koefisien korelasi yang sama. Nilai koefisien korelasi paling baik berada di antenna 1 3 dan 2 4 yang dimana memiliki arah polarisasi yang sama dalam kedua konfigurasi tersebut.

### C. Gain dan Directivity

Berikut hasil simulasi untuk *gain* dan *directivity* di Konfigurasi Polarisasi *circular*.

**Tabel 4.6** Tabel Hasil *Gain* dan *Directivity* Polarisasi *Circular*

		Antena 1			Antenna 2		
		2,3	2,4	2,5	2,3	2,4	2,5
KP 3	G	1,805386	2,476304	2,693451	1,805427	2,476453	2,693747
	GDBi	2,565702	3,93804	4,303091	2,5658	3,938302	4,303568
	Directivity	4,87998	5,13584	5,501013	4,879941	5,135859	5,501054
	Efficiency	0,369958	0,482162	0,489628	0,369969	0,482189	0,489678
KP 4	G	1,811249	2,465263	2,687464	1,81127	2,465277	2,687445
	GDBi	2,579781	3,918633	4,293426	2,579831	3,918657	4,293396
	Directivity	4,892475	5,112409	5,488657	4,892452	5,112396	5,488649
	Efficiency	0,370211	0,482212	0,48964	0,370217	0,482215	0,489637

Efficiency paling baik di setiap konfigurasi dan setiap antenna

*directivity* di Konfigurasi Polarisasi 3 maupun Konfigurasi Polarisasi 4 memiliki nilai yang tidak terlalu signifikan. Sehingga nilai *efficiency* di setiap konfigurasi pun tidak terlalu signifikan perbedaannya.

### 4. Kesimpulan

Dari hasil analisis yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. *Working bandwidth* yang dihasilkan dari antenna *single* memiliki lebar yang sempit. *Working bandwidth* yang didapatkan sekitar 20 MB saja
2. *Space Diversity* yang semakin besar akan mempengaruhi nilai S parameter yang lebih baik. Namun, tidak berbanding lurus terhadap nilai *efficiency*.
3. Polarisasi *diversity* tidak terlalu mempengaruhi lebar *working bandwidth* serta besaran S parameter di setiap konfigurasi..
4. Nilai *efficiency* yang lebih baik didapatkan dalam konfigurasi Polarisasi *diversity* dibandingkan dengan *space diversity*. Nilai paling tinggi 49,16% untuk polarisasi *diversity* berbanding 47,41% di *space diversity*.
5. Koefisien korelasi dalam *space diversity* akan lebih baik apabila jarak antara elemennya semakin jauh.  $1,76 \times 10^{-3}$  di koefisien 1-3 Konfigurasi Space 1 frekuensi 2,4 GHz berbanding  $2,76 \times 10^{-5}$  di koefisien yang sama pada Konfigurasi Space 3 frekuensi 2,4 GHz.
6. Nilai koefisien korelasi dalam *polarization diversity* memiliki nilai yang lebih baik apabila arah polarisasi antenna pengirim dan penerima sama.  $3,14 \times 10^{-9}$  pada koefisien 2 3 di Konfigurasi Polarisasi 2 frekuensi 2,4 GHz berbanding  $3,66 \times 10^{-5}$  pada koefisien 2 4 di konfigurasi dan frekuensi yang sama.

D

apat dilihat dari tabel diatas, nilai gain dan

**Referensi:**

- [1]V. M. Kapinas, M. Ilić, G. K. Karagiannidis, and M. Pejanović-Đurić, "Aspects on Space and Polarization Diversity in Wireless Communication Systems," no. July 2020, pp. 183–186, 2007, [Online]. Available: <http://kapinas.webpages.auth.gr/wp-content/papercite-data/pdf/telfor07-polar.pdf>.
- [2]U. Ullah, I. Ben Mabrouk, and S. Koziel, "Enhanced-performance circularly polarized MIMO antenna with polarization/pattern diversity," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 11887–11895, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2966052.
- [3]A. McHbal, N. A. Touhami, H. Elftouh, M. Moubadir, and A. Dkiouak, "Spatial and Polarization Diversity Performance Analysis of a Compact MIMO Antenna," *Procedia Manuf.*, vol. 32, pp. 647–652, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.02.266.
- [4]N. O. Stephanopoulos, "Spatial diversity," *Harv. Law Rev.*, vol. 125, no. 8, pp. 1909–2010, 2012, doi: 10.1007/0-306-46990-1\_7.
- [5]M. Koohestani, A. Hussain, A. A. Moreira, and A. K. Skrivervik, "Diversity gain influenced by polarization and spatial diversity techniques in ultrawideband," *IEEE Access*, vol. 3, pp. 281–286, 2015, doi: 10.1109/ACCESS.2015.2421505.
- [6]U. Wahlberg and C. Beckman, "Antenna Systems for Polarization Diversity," *www.microwavejournal.com*. <https://www.microwavejournal.com/articles/2078-antenna-systems-for-polarization-diversity>.
- [7]A. Sianipar, "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," *UNIKOM*, pp. 8–31, 2018.
- [8]F. Y. Zulkifli, "Studi Tentang Antena Mikrostrip Dengan Defected Ground Structure (Dgs)," *Disertasi UI*, pp. 9–33, 2008.
- [9]M. Alaydrus, *Antena Prinsip dan Aplikasi*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2011.
- [10]I. M. . Budi, E. S. Nugraha, and A. Agung, "Perancangan Dan Analisis Antena Mikrostrip Mimo Circular Pada Frekuensi 2.35 GHz Untuk Aplikasi LTE," *J. INFOTEL*, vol. 9, no. 1, p. 136, 2017, doi: 10.20895/infotel.v9i1.130.
- [11]K. H. Chen and J. F. Kiang, "Effect of mutual coupling on the channel capacity of MIMO systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 65, no. 1, pp. 398–403, 2016, doi: 10.1109/TVT.2015.2397033.
- [12]Sholihin, E. Susanti, A. A. Pramudita, and M. M. Rose, "MIMO antenna with cross polarisation printed yagi elements for MIMO router," *Proc. - ICWT 2017 3rd Int. Conf. Wirel. Telemat. 2017*, vol. 2017-July, pp. 65–69, 2018, doi: 10.1109/ICWT.2017.8284140.
- [13]F. Heryanto, H. Wijanto, A. D. Prasetyo, and Edwar, "Slotted patch and truncated edge techniques on microstrip antenna for CP-SAR S-band data transmitter," *2018 Int. Conf. Signals Syst. ICSigSys 2018 - Proc.*, no. 4, pp. 219–223, 2018, doi: 10.1109/ICSIGSYS.2018.8372670.
- [14]A. I. Najam, Y. Duroc, and S. Tedjini, "Multiple-Input Multiple-Output Antennas for Ultra Wideband Communications," 2012.
- [15]H. Hutapea and Kukuh Aris Santoso, "ANALISIS PENGUJIAN S-PARAMETER PADA PERANGKAT DUPLEXER DAN KABEL COAXIAL DENGAN FREKUENSI 1.800 MHZ," *Univ. 17 Agustus 1945 Jakarta*, no. November 2017, pp. 1–7, 2018.
- [16]C. Ehrenborg and M. Gustafsson, "Fundamental Bounds on MIMO Antennas," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 17, no. 1, pp. 21–24, 2018, doi: 10.1109/LAWP.2017.2772032.
- [17]R. Emilia and M. Mujirudin, "Sistem Mimo dan Aplikasi Penggunaannya," *Rekayasa Teknol.*, vol. 6, no. 6, pp. 14–20, 2013.