

ANALISIS ANTENA MIMO 2X2 BERDASARKAN DIVERSITAS POLARISASI

ANALYSIS OF ANTENNA MIMO 2X2 MIMO BASED ON POLARIZATION DIVERSITY

Prasetyo Uetomo¹, Bambang Sumajudin², Trasma Yunita³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

prasetyouetomo@students.telkomuniversity.ac.id¹, sumajudin@telkomuniversity.ac.id²,
trasmayunita@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Perkembangan teknologi telekomunikasi setiap tahunnya mengalami perkembangan yang sangat pesat. Pada saat ini teknologi paling cepat dan sudah masuk ke Indonesia yaitu teknologi generasi ke-5 *Fifth Generation* (5G). Riset dan pengembangan teknologi 5G sudah mulai diimplementasikan di Indonesia. Teknologi 5G ini sudah diatur berdasarkan persetujuan Kepemerintahan Komunikasi dan Informatika (KEMKOMINFO) dengan alokasi frekuensi 3.5 GHz dengan bandwidth ≥ 100 MHz. Untuk memenuhi syarat yang sudah ditentukan dalam penggunaan teknologi 5G. Dibutuhkan pemilihan antenna yang cocok, salah satunya yaitu dengan menggunakan metode antenna dengan sistem MIMO (*Multiple Input Multiple Output*). Pada penelitian ini, antenna yang cocok untuk sistem MIMO adalah antenna mikrostrip karena bentuknya yang kecil dan mampu bekerja pada frekuensi kerja 3.5 GHz. Dengan desain antenna mikrostrip patch *rectangular*, bahan substrat yang digunakan adalah FR-4 untuk mendapatkan impedansi yang baik dengan ketebalan 1.5 mm dan konstanta dielektrik yang digunakan adalah $\epsilon_r = 4,08$. Perancangan antenna sistem MIMO 2×2 ini didesain dan disimulasikan dengan menggunakan aplikasi *software*. Dengan memperhatikan parameter yang akan dianalisis adalah, *return loss*, *bandwidth*, *gain* dan *mutual coupling*, dengan nilai-nilai parameter yang sudah di spesifikasikan. Berdasarkan dari hasil simulasi yang dilakukan dengan konfigurasi polarisasi dengan menggunakan metode MIMO, didapatkan nilai *gain* maksimum sebesar 4,658 dBi, dengan nilai *return loss* ≤ -10 dB, nilai *bandwidth* sebesar 156 MHz, dan juga nilai *mutual coupling* yang didapatkan adalah ≤ -20 dB dari konfigurasi polarisasi keseluruhan. Dari hasil yang sudah disimulasikan dapat disimpulkan bahwa antenna MIMO dengan konfigurasi polarisasi sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan untuk aplikasi teknologi 5G.

Kata kunci : 5G, Antena Mikrostrip, MIMO, Diversity,

Abstract

The development of telecommunications technology every year has developed very rapidly. At this time, the fastest technology and already in Indonesia is the 5th generation *Fifth Generation* (5G) technology. Research and development of 5G technology has begun to be implemented in Indonesia. This 5G technology has been regulated based on the approval of the Government of Communication and Information (KEMKOMINFO) with a frequency allocation of 3.5 GHz with a bandwidth of 100 MHz. To meet the requirements that have been determined in the use of 5G technology. It takes the selection of a suitable antenna, one of which is by using the antenna method with the MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) system.

In this study, the suitable antenna for the MIMO system is a microstrip antenna because of its small size and capable of working at a working frequency of 3.5 GHz. With a rectangular microstrip patch antenna design, the substrate material used is FR-4 to get a good impedance with a thickness of 1.5 mm and the dielectric constant used is $\epsilon_r = 4.08$. The antenna design for this 2×2 MIMO system is designed and simulated using a software application. Taking into account the parameters to be analyzed are, *return loss*, *bandwidth*, *gain* and *mutual coupling*, with parameter values that have been specified.

Based on the simulation results carried out with the polarization configuration using the MIMO method, the maximum gain value is 4.658 dBi, with a return loss value of -10 dB, a bandwidth value of 156 MHz, and also the mutual coupling value obtained is -20 dB from overall polarization configuration. From the results that have been simulated, it can be concluded that

the MIMO antenna with a polarization configuration has met the desired specifications for 5G technology applications.

Keywords : 5G, Microstrip Antenna, MIMO, Diversity

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi telekomunikasi pada saat ini telah menunjukkan kemajuan yang sangat pesat, saat ini teknologi telekomunikasi memiliki peranan yang sangat penting terhadap kebutuhan manusia. Telekomunikasi radio adalah salah satu jenis telekomunikasi yang melakukan transfer data melalui udara atau disebut *wireless* (tanpa kabel). [1]

WLAN (*Wireless Local Area Network*) merupakan salah satu sistem komunikasi yang lebih fleksibel dikarenakan pada sistem komunikasi ini sudah *wireless* dibandingkan dengan menggunakan sistem komunikasi yang masih menggunakan kabel. Dimana teknologi ini dapat mencakup wilayah yang cukup besar merujuk penelitian sebelumnya [2][3]. Teknologi 5G (*fifth generation*) sudah menjadi konsep yang akan diberlakukan di Indonesia dan akan menjadi kebutuhan untuk teknologi *wireless* modern pada masa yang akan mendatang. Jaringan 5G ini merupakan teknologi telekomunikasi yang mempunyai data rate yang sangat tinggi dan secara kecepatan 5G memiliki performa yang lebih baik dibandingkan pendahulunya yaitu 4G (*fourth generation*). Spektrum dalam jaringan 5G terbagi dalam tiga rentang frekuensi diantaranya: Sub-1 GHz, 1 – 6 GHz dan di atas 6 GHz. Frekuensi Sub-1 – 6 GHz memberikan layanan berupa cakupan dan kapasitas yang baik. Dalam hal ini, spektrum 3,3 – 3,8 GHz diharapkan menjadi dasar dari layanan 5G [4]. Pemilihan antenna yang tepat untuk teknologi 5G ini menjadi salah satu faktor penting salah satunya dengan menggunakan antenna microstrip, karena antenna microstrip sangat fleksibel dan juga dapat digunakan dalam frekuensi cukup tinggi yang dapat digunakan dalam teknologi 5G dengan frekuensi 3,5 GHz [5]. Pemilihan frekuensi 3,5 GHz tersebut sudah menjadi acuan untuk mengembangkan komunikasi jaringan 5G di Indonesia oleh KEMKOMINFO.[6] Pada penelitian ini akan menggunakan teknik MIMO yaitu (*Multiple Input Multiple Output*). Teknik menggunakan mikrostrip antenna dengan cara membuat lebih dari satu antenna pada pengirim maupun penerima.

Berdasarkan latar belakang diatas, Tugas Akhir ini menggunakan antenna mikrostrip dengan *patch rectangular* dengan sistem MIMO yang bekerja pada frekuensi 3,5 GHz sesuai dengan frekuensi dalam jaringan 5G yang akan digunakan di Indonesia. Dan menggunakan teknik *inset-fed* untuk mendapatkan nilai *bandwidth* yang diinginkan. Dan juga menggunakan teknik *truncated* pada antenna *single* untuk mendapatkan polarisasi *circular*. Pada konfigurasi polarisasi linear terdapat Horizontal Vertical *mirror* dan juga Horizontal Vertical Vertical Horizontal. Selain itu pada konfigurasi polarisasi *circular* terdiri dari RHCP (*Right Hand Polarization Circular*), LHCP (*Left Hand Polarization Circular*), RRL, LLR, RL, dan LR. Tugas Akhir ini melakukan analisis terhadap performansi penyusunan konfigurasi polarisasi *linear* dan pada konfigurasi polarisasi *circular* pada sistem antenna MIMO 2x2 dengan frekuensi 5G 3,5 GHz.

2. Dasar Teori

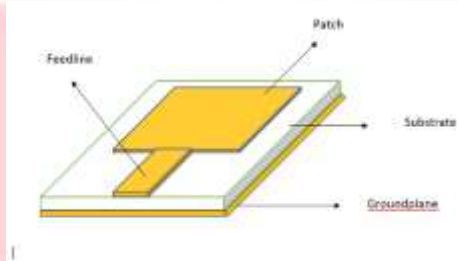
2.1. 5G

Perkembangan teknologi saat ini sudah berkembang dengan pesat khususnya kemampuan data rate yang tinggi serta dapat mencakup wilayah yang besar dengan komunikasi jaringan 5G yang memberikan layanan kecepatan transfer data tinggi untuk memenuhi kebutuhan pengguna. Pada jaringan 5G ini memiliki peningkatan dalam kebutuhan *bandwidth*-nya.[6]

2.2. Antena

2.3. Antena Mikrostrip

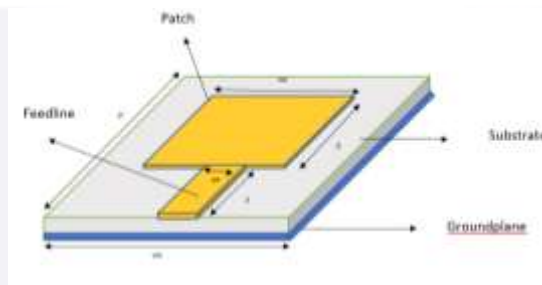
Antena mikrostrip menjadi sangat populer saat ini terutama untuk komunikasi tanpa kabel. Pada saat ini antenna mikrostrip banyak digunakan pada bidang komunikasi[11]. Antena mikrostrip terbagi menjadi tiga lapisan bahan, yaitu lapisan *patch* yang fungsinya sebagai peradiasi, substrat dielektrik sebagai medium, substrat mempunyai berbagai macam karakteristik. spesifikasi yang umum seperti konstanta dielektrik (ϵ_r), faktor disipasi (*loss tangent*), dan ketebalan (*d*). Pemilihan *groundplane* yang berfungsi sebagai *reflector groundplane* terbuat dari bahan konduktor[10], sedangkan pemilihan substrat tersebut dilakukan berdasarkan karakteristiknya agar diperoleh daya yang optimal pada rentang frekuensi yang diinginkan [12]. Antena mikrostrip mempunyai kelemahan yaitu *bandwidth* yang sempit namun dengan metode metode yang sudah diriset, menunjukkan dapat mengurangi kelemahan tersebut [13]. *Groundplane* pada antenna mikrostrip berfungsi mengembalikan kembali energi melalui substrat menuju udara bebas [14] dan yang terakhir adalah saluran transmisi.



Gambar 1. Struktur Antena Mikrostrip

2.3.1. Antena Mikrostrip Rectangular

Antena mikrostrip patch persegi adalah antena dengan patch berbentuk persegi yang desainnya sederhana dan menguntungkan untuk biaya fabrikasi yang rendah[2]. Antena mikrostrip memiliki komponen *ground plane* yang terbuat dari copper berada di lapisan paling bawah yang berfungsi sebagai pemantul sempurna. Substrate di atasnya memiliki konstanta dielektrik (ϵ_r), dan tebal *substrate* (h). [13]



Gambar 2. Patch Rectangular

Bentuk *patch rectangular* memiliki bentuk yang mudah untuk dilakukan analisis dan paling akurat untuk substrate yang tipis[7]. Bentuk *patch rectangular* seperti gambar diatas pada dasarnya akan menghasilkan polarisasi *linear*. Ukuran dimensi antena mikrostrip dapat dicari melalui perhitungan dari rumus yang telah disederhanakan. Untuk menentukan ukuran dimensi antena, dapat menggunakan persamaan berikut: [13]

- a. Lebar patch (W)

$$W = \frac{c}{2f_r \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}}, \quad (2.1)$$

- b. Panjang patch (L)

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{w}}} \right), \quad (2.2)$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}}, \quad (2.3)$$

$$\Delta L = 0,412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3) \left(\frac{w}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0,258) \left(\frac{w}{h} + 0,8 \right)}, \quad (2.4)$$

$$L = L_{eff} - 2\Delta L. \quad (2.5)$$

- c. Dimensi Substrat dan Groundplane antena

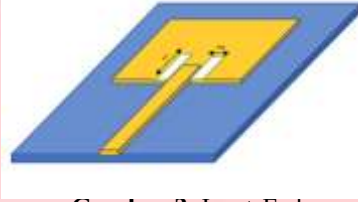
$$L_s = 6h + L_{patch}, \quad (2.6)$$

$$W_s = 6h + W_{patch}. \quad (2.7)$$

2.3.2. Inset-Fed

Proses pembuatan saluran transmisi atau Teknik catuan pada mikrostrip antenna biasanya menggunakan teknik mikrostrip line, *coaxial probe*, *aperture coupling* dan *proximity coupled*,

namu pada tugas akhir ini Teknik catuan yang digunakan adalah microstrip line dengan tambahan metode *inset-fed* Pada *microstrip line* dapat diubah dengan menambahkan *inset-fed*, Seperti yang terlihat pada gambar 3. teknik *inset-fed* ini digunakan secara efektif untuk mendapatkan nilai bandwidth yang diinginkan [5]

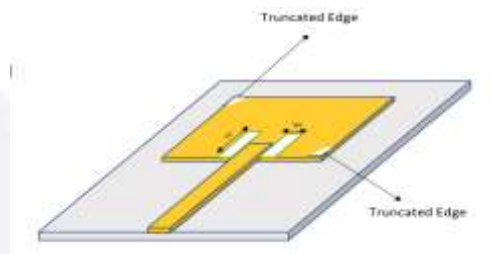


Gambar 3. Inset-Fed

Penggunaan teknik inset-fed juga ini bertujuan agar mendapatkan *matching impedance* yang lebih baik[9]

2.3.3. Truncated Edge

Truncated edge adalah salah satu teknik yang digunakan di mikrostrip antenna untuk mengubah jenis polarisasi yang dihasilkan dari antenna, yang sebelumnya polarisasi linear menjadi polarisasi *circular*, teknik tersebut dilakukan dengan cara memotong ujung kedua *patch* pada antenna mikrostrip[3].



Gambar 4. Truncated Edge

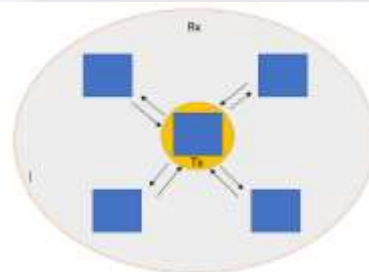
Teknik truncated edge dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut[20]

$$Q = \frac{f_0}{BW} \quad (2.8)$$

$$s = \sqrt{\frac{w}{Q}} \quad (2.9)$$

2.4. MIMO

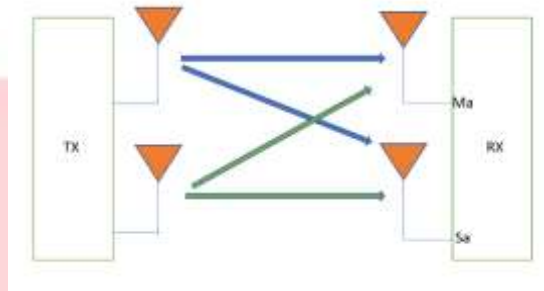
MIMO (Multiple Input Multiple Output) merupakan system yang menggunakan multi antenna disisi pengirim dan penerima.[8] Dalam merancang sebuah antenna dengan menggunakan teknik MIMO memiliki sedikit kesulitan yaitu harus mencari nilai *mutual coupling* yang kecil dalam sistem MIMO, untuk mencari nilai *mutual coupling* dapat dilakukan dengan cara mengatur jarak antar antenna pada sistem MIMO tersebut[16] *Mutual coupling* dapat terjadi ketika ada lebih dari satu antenna yang diletakkan secara berdekatan dalam sebuah sistem MIMO[15].



Gambar 5. Klasik MIMO

Klasik MIMO pada gambar 5. Menjelaskan daerah penerima seluruhnya dikelilingi oleh pengirim[17] tujuan penerapan sistem MIMO adalah untuk meningkatkan kapasitas sistem. Referensi MIMO 2×2 telah dibuat berdasarkan kebutuhan untuk antenna yang bekerja pada

beberapa perangkat LTE MIMO 2×2 [18] Dan agar fokus dalam penelitian ini, perancangan sistem MIMO 2×2 yang telah dilakukan sebelumnya oleh [3] seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Sistem MIMO 2×2 [16]

2.5 Diversity

Diversity adalah teknik dimana sinyal informasi dikirim melalui beberapa lintasan. Konsep dasar pada diversity adalah ialah mentransmit sinyal melalui beberapa cabang jalur independen untuk mendapatkan sinyal independen yang tidak berkorelasi. Diversitas dapat meningkat dengan banyaknya antenna pengirim dan penerima[3].

2.5.1 Space Diversity

Agar dapat mendapatkan nilai *mutual coupling* yang rendah, maka dari itu *space diversity* sangat di butuhkan[3].

2.5.2 Polarization Diversity

Polarization diversity dimaksudkan agar mendapatkan sinyal unkorrelasi dari sistem MIMO[3] Diversitas polarisasi didesain untuk mendapatkan suatu sinyal yang memancar saling orthogonal merujuk dari penelitian[19]

3. Perancangan

3.1. Desain Sistem

Dalam perancangan desain antenna yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah antenna mikrostrip MIMO dengan *patch rectangular* dengan menggunakan teknik *inset-fed* dan teknik *truncated* pada bagian ujung *patch* untuk mendapatkan polarisasi *circular* yang bekerja pada frekuensi 5G 3,5GHz. Tugas Akhir ini difokuskan pada analisis performansi pengaruh dari penyusunan konfigurasi polarisasi ilinear konfigurasi polarisasi *circular* pada sistem antenna MIMO. Konfigurasi polarisasi *linear* dan konfigurasi polarisasi *circular* dipilih karena posisi dari penyusunan polarisasi dapat mengurangi *coupling* antar elemen antenna *Multiple Input Multiple Output* (MIMO).

Tabel 1 Spesifikasi antenna.

Spesifikasi Antena Mikrostrip	Keterangan
Frekuensi	3.5 GHz
Bentuk Patch	Rectangular
Return Loss	≤ -10 dB
Konstanta Dieletirik	4.08
Ketebalan Patch	0.035 mm
Ketebalan Substrate	1.5 mm
Bahan Substrate	Fr-4
Bahan Patch	Copper
Bandwidth	100 MHz
Gain	$\leq 2,5$ dBi

3.2. Simulasi Antena

Dalam skema perancangan ini, merancang dan mensimulasikan antenna mikrostrip dengan system MIMO yang mampu bekerja pada frekuensi 5G 3.5 GHz. Penggunaan metode *inset-fed* untuk mendapatkan nilai *bandwidth* yang diinginkan. sebelum mendesain antenna mikrostrip satu elemen ini dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai parameter dan hasil perhitungan dimasukkan terlebih dahulu pada tabel parameter antenna. Kemudian memilih bahan yang akan digunakan untuk perancangan antenna mikrostrip, Bahan yang digunakan untuk bahan substrate dipilih FR4 yang paling umum digunakan, bahan konduktor dipilih *copper*, Setelah terpilih bahan-bahan untuk desain dan simulasi, kemudian pilih bentuk antenna mikrostrip yaitu *rectangular patch*, Setelah itu, menentukan frekuensi kerja dari antenna mikrostrip untuk bekerja pada jaringan 5G yaitu 3.5 GHz. Setelah selesai, kemudian run setup solver pada aplikasi *software*, Untuk parameter yang

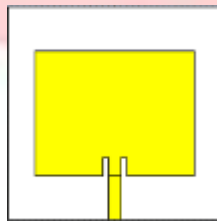
dihasilkan pada proses perancangan yaitu *return loss*, *bandwidth*, *gain*, dan polarisasi pada antenna *single* elemen. Pemilihan desain antenna 2×2 pada penelitian sebelumnya [3] memberikan usulan menambahkan frekuensi kerja untuk jaringan 5G dengan nilai frekuensi sebesar 3.5 GHz dengan nilai *bandwidth* 100 MHz dan juga penambahan beberapa metode konfigurasi pada konfigurasi polarisasi sirkular.

3.3 Desain Antena Mikrostrip dan Optimasi

Pada desain antena mikrostrip *single* ini akan dibuat menjadi 2 model yaitu antena mikrostrip *single patch* dengan bentuk patch rectangular, dan antena mikrostrip *single patch* yang sudah di *truncated* atau dipotong pada bagian ujung patch-nya

3.3.1 Antena Mikrostrip Single Antena

Pada perancangan antena mikrostrip *single* mencari dimensi antena terlebih dahulu sebelum melakukan perancangan dan simulasi antena *single* tersebut dengan menggunakan persamaan (2.1), (2.2), (2.3). dan didapatkan dimensi antena *single* seperti gambar 7.



Gambar 7. Antena Single

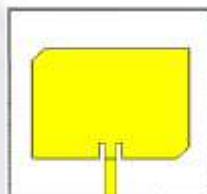
Dalam perhitungannya dimensi antenna belum memenuhi frekuensi kerja 3.5 GHz, oleh karena itu perlu dilakukan optimasi terhadap parameter antena tersebut.

Tabel 2 Dimensi Antena Single Sebelum dan Setelah Optimasi

Parameter	Nilai Sebelum Optim	Nilai Setelah Optim
<i>Antx</i> (Panjang patch)	26.87 mm	26.3 mm
<i>Anty</i> (Lebar patch)	20.78 mm	20.39 mm
<i>Sbx</i> (Panjang substrat)	35 mm	35 mm
<i>Sby</i> (Lebar substrat)	35 mm	35 mm
<i>Sbh</i> (Tebal substrat)	1.5 mm	1.5 mm
<i>Insx</i> (Panjang dimensi insert)	0.9 mm	0.9 mm
<i>Insy</i> (lebar dimensi insert)	3 mm	3 mm
<i>Trx</i> (Dimensi transmission line)	2 mm	2 mm

3.3.2 Antena Mikrostrip Single Antena Truncated

Pada perhitungan metode *truncated* ini menggunakan persamaan (2.8)(2.9). dan didapatkan dimensi antena *single* pada gambar 8.



Gambar 8. Antena Single Truncated

Antena dari perhitungan *truncated* belum memenuhi frekuensi kerja 3.5 GHz, maka dari itu dilakukan optimasi pada parameter antena

Tabel 3 Dimensi Antena Single Truncated

Parameter	Nilai Sebelum Optim	Nilai Setelah Optim
<u>Antx</u> (Panjang <i>patch</i>)	26.87 mm	27.3 mm
<u>Anty</u> (Lebar <i>patch</i>)	20.78 mm	20.551 mm
<u>Sbx</u> (Panjang <i>substrat</i>)	35 mm	35 mm
<u>Sby</u> (Lebar <i>substrat</i>)	35 mm	35 mm
<u>Sbh</u> (Tebal <i>substrat</i>)	1.5 mm	1.5 mm
<u>Insx</u> (Panjang <i>dimensi insert</i>)	0.9 mm	0.9 mm
<u>Insy</u> (Lebar <i>dimensi insert</i>)	3 mm	3 mm
<u>Trx</u> (Dimensi <i>transmission line</i>)	2 mm	2 mm
<u>A</u> (Dimensi <i>truncated</i>)	1,9 mm	2,19 mm

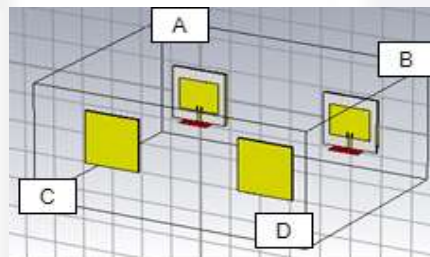
3.4 Antena MIMO 2X2 Konfigurasi

Mikrostrip Dengan

Setelah mendapatkan hasil dari simulasi antena mikrostrip satu elemen yang diharapkan pada frekuensi kerja 5G 3,5 GHz, maka penelitian dilanjutkan dengan mendesain antena mikrostrip satu elemen tersebut kedalam sistem MIMO 2 × 2 dengan menggunakan konfigurasi *space diversity* untuk menjadi acuan jarak, lalu diversitas polarisasi *linear*, dan diversitas polarisasi *circular*. Yang nantinya di cari hasil parameter-paramater yang paling baik di setiap konfigurasinya.

3.4.1 MIMO 2X2 Dengan Konfigurasi Space Diversity

Pada konfigurasi jarak ini dilakukan beberapa metode konfigurasi nya seperti mengatur jarak antar antena 100 × 100 mm, 130 × 130 mm, 150 × 150 mm, 180 × 180 mm, 200 × 200 mm, 300 × 300 mm, yaitu dengan mengatur jarak antar antena satu elemen dan setiap antena memiliki perbedaan dimana antena A dan B akan berfungsi sebagai pengirim atau (Tx) adalah transmit yang berfungsi untuk mengirim data atau (*transmitter*) dan di sebrang lainnya data diterima melalui Rx (*Received*). Dan pada antena C dan D sebagai antena penerima atau (Rx).



Gambar 8. Konfigurasi Space

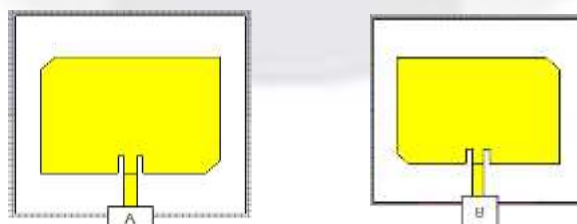
Dan didapatkan nilai *mutual coupling* yang ideal (-20 dB) pada konfigurasi space 200 × 200 mm dan menjadi acuan jarak pada konfigurasi polarisasi *linear* dan konfigurasi polarisasi *circular*, dan pada konfigurasi space 300 × 300 mm hanya menjadi bukti bahwa semakin jauh jarak antar antena maka semakin baik pula nilai *mutual coupling* tersebut.

3.4.1 MIMO 2X2 Dengan Konfigurasi Polarisasi Linear

Penggunaan elemen pada antena nya sama seperti konfigurasi sebelumnya yaitu antena A dan B berfungsi sebagai pengirim atau (Tx) dan antena C dan D berfungsi sebagai penerima atau (Rx). Perbedaannya adalah penempatan antena yang horizontal dan vertical. Dibagi menjadi dua konfigurasi yaitu Polarisasi Linear Horizontal vertical *mirror* dan Polarisasi Linear Horizontal Vertikal Vertikal Horizontal.

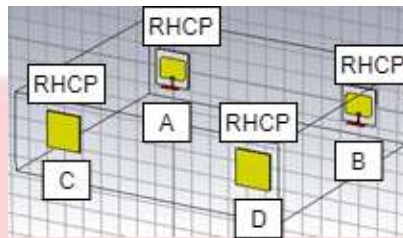
3.4.1 MIMO 2X2 Dengan Konfigurasi Polarisasi Circular

Penggunaan elemen tetap sama, yang membedakannya adalah pada konfigurasi polarisasi *circular* ini menggunakan antena *single* yang di *truncated* pada bagian ujung *patch* nya.



Gambar 9 (A) RHCP (B) LHCP

dan dibagi menjadi beberapa konfigurasi seperti konfigurasi polarisasi *circular* RHCP (*Right Hand Circular Polarization*), LHCP (*Left Hand Circular Polarization*), RLRL, LRLR, RRLR, dan LLRR



Gambar 10. Konfigurasi Polarisasi Circular

4.1. Return Loss

Perbandingan dari hasil nilai *return loss* pada semua konfigurasi terdapat pada Tabel 4

Tabel 4 Perbandingan *return* pada semua konfigurasi

Return Loss (3.5 GHz)	KS (dB)						KPL (dB)	
	KS 1	KS 2	KS 3	KS 4	KS 5	KS 6	KPL 1	KPL 2
RL 1,1	-21,400	-22,498	-25,432	-23,987	-24,137	-23,780	-24,138	-22,306
RL 2,2	-22,831	-24,132	-27,768	-26,084	-24,137	-23,780	-24,998	-22,883
RL 3,3	-22,875	-24,178	-28,000	-26,313	-24,137	-23,780	-24,138	-22,698
RL 4,4	-22,845	-24,201	-27,887	-26,166	-24,137	-23,780	-24,998	-22,591
Return Loss (3.5 GHz)	KPC (dB)							
	RHCP	LHCP	RLRL	LRLR	RRLR	LLRR		
RL 1,1	-30,288	-30,285	-30,288	-30,249	-30,296	-30,296		
RL 2,2	-30,293	-30,296	-30,285	-30,251	-30,291	-30,285		
RL 3,3	-30,296	-30,293	-30,297	-30,240	-30,296	-30,288		
RL 4,4	-30,285	-30,288	-30,294	-30,242	-30,291	-30,293		

Dari hasil tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai pada konfigurasi polarisasi *circular* RHCP dan LHCP pada antenna pengirim dan penerima yang dimana nilai *return loss* hampir sama karena pada konfigurasi RHCP dan LHCP meletakkan antenna *single* sama pada tiap elemen antenanya dan yang membedakannya hanya pada orientasi pada polarisasinya (RHCP dan LHCP). Pada konfigurasi polarisasi *circular* RLRL dan LRLR memiliki nilai *returnloss* yang meningkat walaupun tidak signifikan dikarenakan pada konfigurasi ini yang membedakannya yaitu tentang peletakan antenna *single* RHCP diubah menjadi antenna *single* LHCP dan sebaliknya. Pada nilai *return loss* yang didapatkan dari hasil konfigurasi yaitu memenuhi spesifikasi yang diharapkan. Dari nilai *return loss* yang di hasilkan dapat melihat nilai *bandwidth* dari masing-masing antenna. Selain itu dari hasil *return loss* antenna MIMO, dapat dilihat nilai *bandwidth* dari masing-masing elemen *patch* antenna. Nilai *bandwidth* didapat dari $f_{upper} - f_{lower}$ pada rentang frekuensi kerja. Terlihat perbandingan *bandwidth* semua konfigurasi pada tabel 5

Tabel 5 Nilai *bandwidth* pada semua konfigurasi

Bandwidth Pada Return Loss	KS						KPL	
	KS 1	KS 2	KS 3	KS 4	KS 5	KS 6	KPL 1	KPL 2
RL 1,1	151 MHz	149 MHz	149 MHz	148 MHz	150 MHz	149 MHz	144 MHz	143 MHz
RL 2,2	149 MHz	148 MHz	149 MHz	147 MHz	150 MHz	149 MHz	149 MHz	145 MHz
RL 3,3	149 MHz	148 MHz	149 MHz	147 MHz	150 MHz	149 MHz	144 MHz	144 MHz
RL 4,4	149 MHz	148 MHz	149 MHz	147 MHz	150 MHz	149 MHz	149 MHz	143 MHz
Rata-rata	149 MHz	148 MHz	149 MHz	147 MHz	150 MHz	149 MHz	146 MHz	144 MHz
Bandwidth Pada Return Loss	KPC							
	RHCP	LHCP	RLRL	LRLR	RRLR	LLRR		
RL 1,1	151 MHz	151 MHz	151 MHz	160 MHz	151 MHz	151 MHz		
RL 2,2	151 MHz	151 MHz	151 MHz	152 MHz	151 MHz	151 MHz		
RL 3,3	151 MHz	151 MHz	151 MHz	160 MHz	151 MHz	151 MHz		
RL 4,4	151 MHz	151 MHz	151 MHz	152 MHz	151 MHz	151 MHz		
Rata-rata	151 MHz	151 MHz	151 MHz	156 MHz	151 MHz	151 MHz		

4.2. Mutual Coupling

Hasil simulasi *mutual coupling* didapatkan dari nilai S-Parameter dengan acuan nilai dari *mutual coupling* ≤ -20 dB. Berdasarkan hasil simulasi, menunjukkan bahwa pengaruh penyusunan dari setiap elemen antenna yang dirancang tidak menyebabkan nilai *mutual coupling* berada diatas

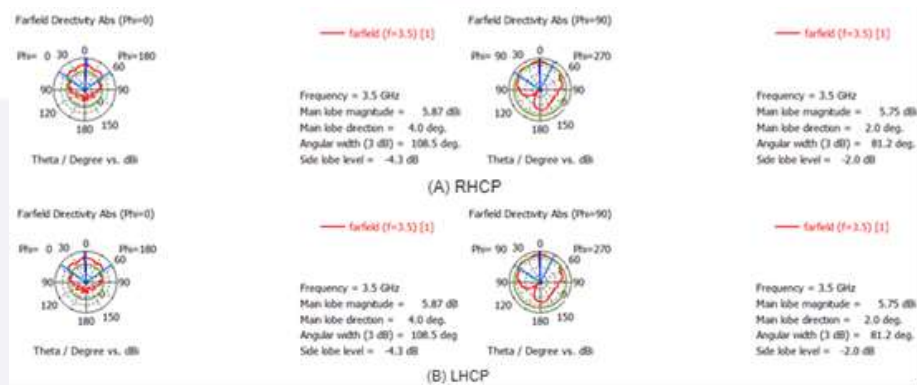
-20 dB. Hal ini disebabkan oleh pengaturan jarak antar antenna. Merujuk pada penelitian sebelumnya [3] dengan mendesain antenna *single* yang diberi jarak antar antenanya yang terbukti semakin jauh jarak antar antenna maka semakin rendah nilai *mutual coupling*.

4.4. Polarisasi

Pada hasil polarisasi antenna mikrostrip sistem MIMO konfigurasi polarisasi sirkular ini selain menggunakan teknik *truncated*, yang dimana teknik *truncated* ini digunakan untuk mendapatkan polarisasi *circular* pada tiap antenna nya, selain itu konfigurasi polarisasi yang dilakukan pada antenna mikrostrip patch *rectangular* yang menggunakan sistem MIMO dimana menghasilkan pengaruh pada nilai *mutual coupling* hal tersebut disebabkan polarisasi antar antenna yang saling mempengaruhi.

4.3. Pola Radiasi

Setelah melakukan analisis pada nilai *return loss* dan nilai *mutual coupling*, selanjutnya dilakukan perbandingan pola radiasi yang dimana perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan dari penyusunan antenna pada konfigurasi *circular* yaitu pola radiasi dari konfigurasi RHCP dan konfigurasi LHCP. Pada pola radiasi ini dibagi menjadi dua bidang yaitu azimuth dan elevasi. Dimana azimuth ($\Phi=0$) menggambarkan daya radiasi antenna dengan sumbu horizontal, sedangkan elevasi ($\Phi=90$) menggambarkan sumbu vertical. Seperti pada gambar 11



Hasil dari simulasi menunjukkan pada pola radiasi dari RHCP dan LHCP adalah *unidirectional*, yaitu memiliki intensitas radiasi maksimum hanya pada satu arah tertentu saja. Dengan antenna *unidirectional* pola radiasi dari antenna dapat terarah dan mendapat jarak yang jauh. Dengan jarak yang jauh terbukti antenna mikrostrip dengan sistem MIMO ini dapat diaplikasikan pada komunikasi jaringan 5G

4.5. Gain

Pada hasil penelitian yang dilakukan, *gain* yang dihasilkan oleh antenna *single* elemen yang bekerja pada frekuensi 3,5 GHz menghasilkan *gain* sebesar 4,250 dBi. Nilai *gain* pada antenna mikrostrip *single* elemen berpengaruh pada tiap elemen yang dihasilkan saat simulasi antenna mikrostrip dengan sistem MIMO, walaupun nilai dari *gain* tidak terlalu berpengaruh signifikan. Antenna yang memiliki *gain* tinggi diperlukan untuk memenuhi permintaan yang tinggi terhadap layanan komunikasi tanpa kabel, sehingga *coverage* layanan semakin luas.

5. Kesimpulan

Terkait dengan Tugas Akhir yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

Antenna yang dirancang dapat bekerja pada frekuensi yang sesuai dengan spesifikasi 5G yaitu frekuensi 3,5 GHz dengan *bandwidth* 100 MHz, nilai *gain* yang melebihi $\leq 2,5$ dBi dan nilai *mutual coupling* yang baik (-20 dB). Pengaturan polarisasi pada elemen patch sirkular untuk antenna MIMO pada konfigurasi polarisasi sirkular RLRL dapat meningkatkan nilai *return loss* pada elemen antenna. Penggunaan metode *inset-fed* pada antenna mikrostrip tidak dapat sepenuhnya membantu memperbesar *bandwidth*, tetapi pada nilai *gain* antenna meningkat, dimana *gain* yang besar dapat memperbaiki kualitas dari antenna tersebut dan terbukti bahwa Mengatur peletakan jarak antar antenna dalam konfigurasi sistem MIMO terbukti, semakin jauh jarak antar antenna *mutual coupling* semakin kecil.

Referensi

- [1] Wulandari, A., Martha Fitriani, R., & Fadli Kurniawan, D. (2017). Rancang Bangun Antena Mikrostrip MIMO 2x2 untuk Aplikasi WiFi 802.11n di Frekuensi 2,4 GHz. *Politeknologi*, 16(2), 131–139.
- [2] Syahrial., Teuku Yuliar, A., & Ariga, J. (2015). Simulasi Perancangan dan Analisa Antena Mikrostrip Patch Circular pada Frekuensi 2,4GHz untuk Aplikasi WLAN. *Seminar Nasional Dan Expo Teknik Elektro 2015*, 134–140.
- [3] Yatta, M., Bambang, H., & Trasma, S.(2021). Studi Analisis Antena 2X2 MIMO Menggunakan Konfigurasi Space Polarization Diversity Analytical Study 2X2 MIMO Antenna Using Space and. 8(2), 1-12
- [4] GSMA, “5G Spectrum,” Public Policy Position, 2016
- [5] A. B. Adipurnama, H. Wijanto, and Y. Wahyu, “Perancangan dan Realisasi Antena Mimo 4x4 Mikrostrip Patch Persegi Panjang 5,2 GHz Untuk Wifi 802.11N,” e-Proceeding Eng., vol. 3, no. 1, pp. 233–243, 2016.
- [6] G. S. A. White, P. Input, and H. Copyright, “5G-Oriented Indoor Digitalization Solution White Paper,” no. November, 2017
- [7] F. K. Hadist, H. Wijanto, and Y. Wahyu, “Antena Mikrostrip MIMO 4x4 Bowtie 2,4 GHz untuk Aplikasi Wifi 802.11n,” e-Proceeding Eng., vol. 4, no. 3, pp. 3703–3710, 2017
- [8] Dahlan, Rangga Fandyka. 2015. “Perancangan Dan Implementasi Antena Array MIMO 2 X 2 Mikrostrip Patch Rectangular Single Band Pada Perangkat CPE (Customer Premises Equipment) Dengan Frekuensi Kerja 2,3 GHz”. Bandung: Universitas Telkom
- [9] M. A. Matin and A. I. Sayeed, “A Design Rule for Inset-fed Rectangular Microstrip Patch Antenna,” WSEAS TRANSACTIONS on COMMUNICATIONS, Issue 1, Vol. 9, January 2010
- [10] Daud, P., & Andayani, N. S. (2016). Antena Array Mikrostrip Dual Beam Untuk Aplikasi Sensor Radar Doppler. *Jurnal Elektronika Dan Telekomunikasi*, 13(1), 6. <https://doi.org/10.14203/jet.v13.6-13>
- [11] Dwi Cahyo, R. (2009). *PERANCANGAN DAN ANALISIS ANTENA MIKROSTRIP ARRAY DENGAN FREKUENSI 850 MHz UNTUK APLIKASI PRAKTIKUM ANTENA*. 1–9.
- [12] A. Harnan Malik, (2014). Antena Mikrostrip; Struktur Dasar Antena Mikrostrip.
- [13] Izqa, F., Arseno, D., & Yunita, T. (2020). Analisis Dan Desain Antena Mikrostrip Untuk Komunikasi Satelit Pada Frekuensi Ka-Band. *Avitec*, 1(2), 1–12.
- [14] 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.
- [15] Purnamasari, Dyah Alfrina, Rina Pudji Astusi, bambang S. (2017). Perancangan Dan Analisis Antena Massive Mimo Mikrostrip Patch Persegi Panjang Dengan Polarisasi. *E-Proceeding of Engineering* :, 4(3), 3657–3664.
- [16] Gilang, R., Tobing, R., Sumajudin, B., & Wahyu, Y. (2012). *ANALISA PENGARUH MUTUAL COUPLING TERHADAP SUSUNAN DUA ANTENA MIKROSTRIP SEGITIGA SAMA SISI DENGAN FREKUENSI RESONAN YANG BERBEDA (1,5 GHz DAN 1,7 GHz)* Robby
- [17] 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
- [18] Szini, I., Pedersen, G. F., Scannavini, A., & Foged, L. J. (2012). MIMO 2×2 reference antennas concept. *Proceedings of 6th European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2012*, 1540–1543. <https://doi.org/10.1109/EuCAP.2012.6206567>.
- [19] W. J. Prasetyo, H. Wijanto, R. P. Auti, F. T. Elektro, and U. Telkom, “Perbandingan kinerja sistem mimo stbc menggunakan antena dual polarisasi dan polarisasi vertikal,” 2009
- [20] R. A. Sainati, *CAD of Microstrip Antenna for Wireless Application*, Norwood, United States: Artech House Inc, 1996