

Analisis Performansi Kanal MIMO Menggunakan Teknik Diversitas Polarisasi Antena

Mimo Channel Performance Analysis Using Antena Polarization Diversity Techniques

1st Daniel Hotman Junico
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
danielhjunico@student.telkomu
niversity.ac.id

2nd Rina Pudji Astuti
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
rinapudjiastuti@telkomuniversit
y.ac.id

3rd Trasma Yunita
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
trasmayunita@telkomuniversity.
ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi sistem komunikasi yang semakin meningkat menyebabkan permintaan kecepatan akses internet semakin tinggi. Sekarang komunikasi wireless dengan sistem antena MIMO sedang banyak dikembangkan, karena mempunyai efisiensi spektral yang tinggi.

Sistem antena MIMO mensyaratkan nilai mutual coupling dan korelasi yang rendah agar antar elemen tidak saling mempengaruhi. Sehingga dibutuhkan beberapa metode agar hal itu dapat dicapai, salah satunya adalah dengan teknik diversitas polarisasi. Tugas Akhir ini bertujuan untuk menganalisis performansi kanal antena MIMO berdasarkan teknik diversitas polarisasi, dengan melihat pengaruhnya terhadap efisiensi spektral. Tugas Akhir ini difokuskan pada analisis pengaruh penyusunan polarisasi circular dengan mempertimbangan mutual coupling antar elemen antena untuk melihat pengaruhnya terhadap efisiensi spektral. Telah disimulasikan beberapa konfigurasi antena yang sudah ada dari penelitian sebelumnya, menggunakan perangkat lunak. Konfigurasi polarisasi antena yang akan dilakukan adalah pada sisi transceiver.

Antena MIMO yang akan diujicobakan adalah 4 elemen, untuk jenis polarisasi co-polarized dan cross-polarized. Performansi kanal yang akan dianalisis adalah efisiensi spektral. Setelah dilakukan simulasi pada semua skenario susunan polarisasi, nilai efisiensi spektral terbesar adalah saat susunan polarisasi co polarization berkorelasi rendah dengan nilai terendah 53 bps/Hz. Penyusunan polarisasi berpengaruh pada nilai efisiensi spektral.

Kata Kunci : diversitas polarisasi, antena MIMO, efisiensi spektral

Abstract

The development of communication system technology is increasing, causing the demand for internet access speed to be higher. Now wireless communication with MIMO antenna system is being developed, because it has a high spectral efficiency. The MIMO antenna system requires low mutual coupling and correlation values so that the elements do not affect each other. So it takes several methods so that it can be achieved, one of which is the polarization diversity technique. This final project aims to analyze the performance of MIMO antenna channels based on the polarization diversity technique, by looking at its effect on the spectral efficiency. This final project is focused on analyzing the effect of the arrangement of circular polarization by considering the mutual coupling between antenna elements to see its effect on the spectral efficiency. Several existing antenna configurations have been simulated from previous studies, using the Matlab application. The antenna polarization configuration to be carried out is on the transceiver side.

The MIMO antenna that will be tested is 4 elements, for the type of polarized co-polarized and cross-polarized. The performance of the channel that will be analyzed is spectral efficiency. After simulating all polarization array scenarios, the largest spectral efficiency value is when the co polarization array has a low correlation with the lowest value of 53 bps/Hz. The arrangement of polarization affects the value of the spectral efficiency.

Keywords: polarization diversity, MIMO antenna, channel capacity

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dalam bidang komunikasi sudah semakin pesat akibatnya

perkembangan tersebut memicu perkembangan dan perbaikan kecepatan internet. 5G (*fifth generation*) adalah salah satu perkembangan teknologi dalam bidang komunikasi dengan kecepatan transfer data yang tinggi. Teknologi 5G ini memiliki banyak kelebihan dibandingkan generasi sebelumnya seperti data *rate* yang tinggi *bandwidth* yang lebar, mengurangi *latency*, meningkatkan efisiensi spektral dan lebih hemat energi. [1]

Salah satu komponen yang sangat penting dalam perkembangan teknologi 5G adalah Antena. Ada beragam jenis antena, salah satunya adalah antena mikrostrip. Antena mikrostrip mampu bekerja pada frekuensi tinggi dan memiliki ukuran yang kecil dan tipis sehingga cocok digunakan dalam teknologi 5G yang berbasis nirkabel. [2]

Sistem Multiple Input Multiple Output (MIMO) merupakan teknologi yang berpotensi untuk dikembangkan dalam meningkatkan efisiensi spektral. Peningkatan efisiensi spektral pada sistem MIMO tidak hanya ditentukan oleh jumlah antena yang digunakan, namun ditentukan oleh karakteristik dan konsep penyusunan antena. [3]

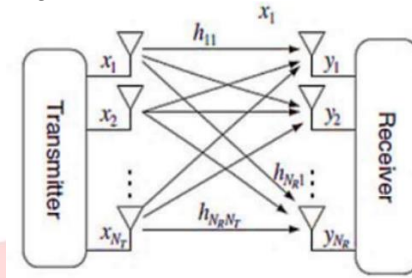
Perancangan antena MIMO mensyaratkan aspek *mutual coupling* yang rendah. Merujuk bahwa *mutual coupling* antar elemen antena dipengaruhi oleh orientasi polarisasi antena, maka diperlukannya penyusunan polarisasi untuk mengurangi level coupling antar elemen pada antena MIMO. Penelitian awal menunjukkan bahwa penyusunan polarisasi akan memberikan dampak terhadap capaian efisiensi spektral dari sistem MIMO [4] [5]. Berdasarkan penelitian tersebut maka akan dibuat 3 skema penyusunan polarisasi dan dianalisis efisiensi spektral kanalnya.

II. KAJIAN TEORI

a. Multiple Input Multiple Output (MIMO)

Sistem Multiple Input Multiple Output (MIMO) adalah sistem penyusunan lebih dari satu antena pada sisi pemancar ataupun sisi penerima dan biasanya ditulis dengan MIMO $M \times N$. Sistem MIMO digunakan pada teknologi *wireless* karena dapat mengurangi peluang informasi hilang dibandingkan menggunakan hanya satu pemancar. Sistem MIMO merupakan pengembangan dari *wireless* 802.11ac. Dalam perancangan antena MIMO, antar antena satu dengan antena lainnya tidak berkorelasi satu

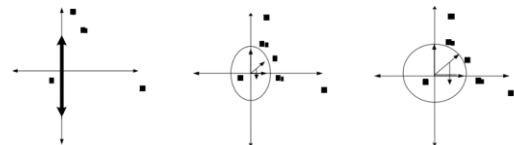
sama lain karena berdampak pada *mutual coupling*.



Gambar 2.1 Ilustrasi Antena MIMO

b. Polarisasi

Polarisasi suatu antena pada arah tertentu adalah sebagai polarisasi dari gelombang yang dipancarkan oleh antena tersebut. Jika antena sebagai penerima maka polarisasi antena adalah polarisasi dari gelombang datang pada arah tertentu yang menghasilkan daya terima maksimum pada antena. Telah dikenal polarisasi gelombang ada tiga (3): Linear, Sirkular (Lingkaran), Eliptis.



Gambar 2.3 Bentuk-bentuk Polarisasi Antena [7]

c. ANTENA

Antena didefinisikan oleh IEEE sebagai alat untuk memancarkan atau menerima gelombang radio atau dengan kata lain antena merupakan struktur transisi antara ruang bebas dengan perangkat pandu, yang dimana perangkat pandu ini atau saluran transmisi dapat berbentuk garis koaksial atau pipa berlubang (*waveguide*), dan digunakan untuk mengangkut energi elektromagnetik dari sumber transmisi ke antena, atau dari antena ke penerima [6]. Dalam teknologi 5G ini menggunakan antena MIMO, di mana hal ini menggunakan antena jenis mikrostrip. Dalam menentukan antena terdapat beberapa parameter untuk mengetahui hasil performa antena sesuai dengan ekspektasi spesifikasi. Penentuan parameter antena dibutuhkan untuk menghasilkan transfer daya maksimum, dengan mencari nilai mendekati sama antara impedansi sumber dengan hasil impedansi beban, yang dapat dikatakan *matching impedance*.

d. Diversitas Polarisasi

Polarization Diversity yaitu sebuah Teknik diversity menggunakan element antenna dengan polarisasi yang berbeda atau saling orthogonal. Desain antenna tersebut dimaksudkan agar dapat meradiasikan dua sinyal dengan polarisasi yang saling orthogonal agar mendapatkan kanal yang tidak berkorelasi atau independent. Contohnya adalah menggunakan antenna dual polarisasi yaitu sebuah perangkat antenna yang terdiri antenna sejenis yang dipasang secara orthogonal. Perangkat antenna tersebut bisa diatur dan diarahkan dengan berbagai cara selama rencana dual polarisasi terpenuhi. Bentuk antenna dual polarisasi yang biasa digunakan yaitu bentuk horizontal dan vertikal

e. Scattering Parameter

Scattering Parameter (S-Parameter) adalah hubungan antara input-output pada jaringan N kutub dengan mempertimbangkan perilaku perambatan gelombangnya. S-Parameter terbagi atas *port input* dan *port output*. *Port input* adalah gelombang datang yang terdiri dari parameter a_1 sampai dengan a_8 , sedangkan *port output* adalah gelombang pantul yang terdiri dari parameter b_1 sampai dengan b_8 . 6 S-Parameter diperoleh dari pengiriman sebuah sinyal frekuensi ke jaringan dan mendeteksi gelombang dari masing-masing keluaran *port*. Adapun persamaan S-Parameter didapatkan dari persamaan matriks

f. Mutual coupling

Perancangan antenna MIMO mempertimbangkan aspek *Mutual coupling* yang rendah agar daya yang dipancarkan tidak diterima oleh antenna lainnya. Efek dari *Mutual coupling* berpengaruh pada performansi dari sistem MIMO, maka dari itu diperlukan teknik untuk mengatur *Mutual coupling* dengan cara mengatur jarak antar antenna, selain itu penyusunan polarisasi dapat mengurangi *level coupling* antar elemen antenna pada sistem MIMO dan *Mutual coupling* diharapkan bernilai ≤ -20 dB [12]. *Mutual coupling* dapat dihitung dengan melihat besaran isolasi. Isolasi adalah perspektif sempit dari *Mutual coupling* dan dapat dilihat dari masing-masing parameter *Mutual coupling*. Sebagai contoh menghitung *coupling* dengan menggunakan S_{21} [3]:

$$Mutual\ coupling = -10 \log_{10} |S_{21}|^2 \quad (1)$$

g. Efisiensi Spektral

Efisiensi spektral MIMO dapat ditentukan dengan Persamaan 2.22 [11]

$$C = E \left\{ \log_2 \det \left(\mathbf{I}_{N_r} + \frac{S/N}{N_t} \mathbf{H} \mathbf{H}^H \right) \right\} \quad (2)$$

dimana \mathbf{H} adalah matriks kanal yang dihitung dari korelasi spasial (H_s) dan matriks impedansi gandeng pada kedua antenna *transmitter* dan *receiver* $E\{\cdot\}$ mengindikasikan target operasi, \mathbf{I}_{N_T} adalah $N_r \times N_r$ matriks identitas dengan N_r diketahui sebagai $N_r = \max(M, N)$, dan S/N merepresentasikan *Signal to Noise Ratio*. Matriks kapasitas kanal dihitung menggunakan Persamaan 2.23 [10]

$$\|\mathbf{H}\|^2 = \frac{1}{N_t} \sum_{t=1}^{N_t} \|\mathbf{H}_i\|_F^2 \quad (3)$$

$$\mathbf{H}_i = \sqrt{\frac{N_{tx} N_{rx}}{\|\mathbf{H}\|_F^2}} \cdot \tilde{\mathbf{H}}_i \quad (4)$$

$$\mathbf{H} = \mathbf{C}_{mc}^{rx} \mathbf{H}_P \mathbf{C}_{mc}^{tx} \quad (5)$$

$$\sqrt{\mathbf{R}_{rx}} \cdot \mathbf{\Gamma} \cdot \sqrt{\mathbf{R}_{tx}} \quad (6)$$

$$\mathbf{R}_{tx} = \begin{bmatrix} 1 & \gamma_{tx} & \gamma_{tx} & \gamma_{tx} \\ \gamma_{tx} & 1 & \gamma_{tx} & \gamma_{tx} \\ \gamma_{tx} & \gamma_{tx} & 1 & \gamma_{tx} \\ \gamma_{tx} & \gamma_{tx} & \gamma_{tx} & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{R}_{rx} = \begin{bmatrix} 1 & \gamma_{rx} & \gamma_{rx} & \gamma_{rx} \\ \gamma_{rx} & 1 & \gamma_{rx} & \gamma_{rx} \\ \gamma_{rx} & \gamma_{rx} & 1 & \gamma_{rx} \\ \gamma_{rx} & \gamma_{rx} & \gamma_{rx} & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Dengan \mathbf{R}_{rx} mempunyai 2 kondisi, saat berkorelasi $\gamma_{rx} = 0.9$ dan saat dekorelasi $\gamma_{rx} = 0$

\mathbf{R} adalah *complex correlation matrix*

$\mathbf{\Gamma}$ adalah variabel random raylrnd

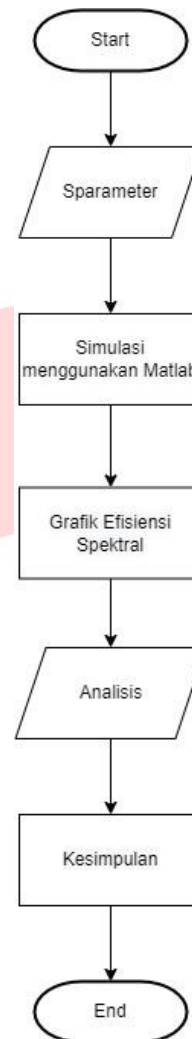
III. METODE

a. Desain Sistem

Penelitian awal menunjukkan bahwa penyusunan polarisasi akan memberikan dampak terhadap capaian efisiensi spektral dari sistem MIMO. Dimana penelitian pertama [4] mendapatkan *Mutual coupling* tertinggi yaitu -37 dB, dan penelitian kedua [5] mendapatkan

Mutual coupling tertinggi yaitu -26.8 dB dengan *cross polarization*. Tugas Akhir ini difokuskan pada analisis pengaruh penyusunan polarisasi circular dengan mempertimbangan *Mutual coupling* antar elemen antena untuk melihat pengaruhnya terhadap efisiensi spektral. Nantinya akan diberikan beberapa konfigurasi antena yang sudah ada dari penelitian sebelumnya yang memiliki spesifikasi sesuai **Tabel 3.1** [1] disimulasikan menggunakan aplikasi CST STUDIO SUITE sehingga didapatkan nilai Sparameter. Lalu sparameter tersebut disimulasikan pada kondisi kanal Rayleigh, menggunakan aplikasi *Matlab*. Konfigurasi polarisasi antena yang akan dilakukan adalah pada sisi *transceiver*.

Antena MIMO yang akan diujicobakan adalah 4 elemen, untuk jenis polarisasi co-polarized dan cross-polarized dibagian *transmitter* dan *receiver*. Kemudian akan dilihat bagaimana pengaruh polarisasi diantena *transmitter*. Kemudian simulasi menggunakan perangkat lunak, akan diketahui pengaruh pengaturan polarisasi pada antena terhadap performansi kanal MIMO yaitu efisiensi spektral. Menggunakan kanal Rayleigh dan noise AWGN, dan frekuensi 3,5GHz



Gambar 3.1 Diagram alir

Tabel 3.1 Spesifikasi Antena

Spesifikasi	Deskripsi
Jenis Antena	Microstrip
Polarisasi	Sirkular (LHCP, RHCP, cross polarized)
Frekuensi Kerja	3,5 GHz
MIMO	4x4
<i>Mutual coupling</i>	$\leq -20dB$
Link Komunikasi	Kanal Rayleigh

b. Skenario Penelitian

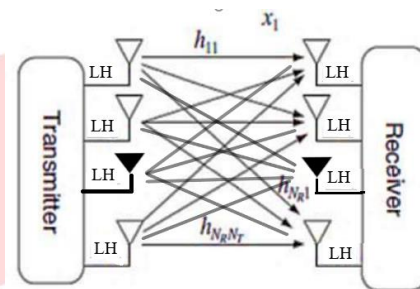
Tugas Akhir ini akan dilakukan penelitian terhadap antenna yang sudah ada pada penelitian sebelumnya. Hal pertama yang akan dilakukan adalah studi literatur untuk pemahaman dalam analisis data. Lalu akan didapatkan data berupa spesifikasi antenna dari penelitian sebelumnya [1]. Data yang didapat berupa Antena yang berbeda sistem polarisasi. Lalu akan dilakukan simulasi dari data yang sudah ada dan disimulasikan, untuk mendapatkan data berupa efisiensi spektral. Lalu akan dilakukan analisis tentang pengaruh diversitas polarisasi terhadap kanal berdasarkan data yang sudah didapatkan. Penyusunan polarisasi yang dilakukan ada 3, yaitu *co polarized left hand*, *co polarized right hand*, dan *cross polarized*.



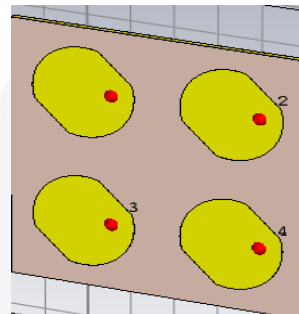
Gambar 3.2 Flowchart Skenario

c. Skenario *co polarized* LHCP

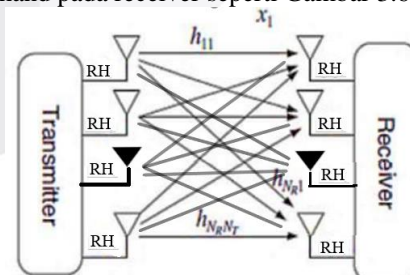
Untuk skenario polarisasi pertama adalah LHCP, dengan susunan antenna 4 elemen *Left hand* pada *Transmitter* dan 4 elemen *Left hand* pada *Receiver* seperti Gambar 3.4



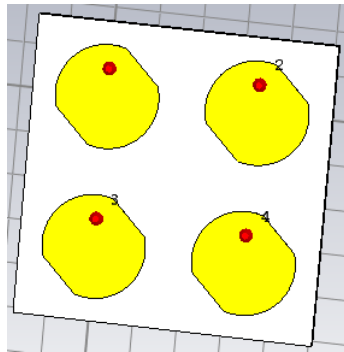
Gambar 3.2 Ilustrasi LHCP

Gambar 3.3 Antena MIMO 4 elemen *Left Hand* tampak depand. Skenario *copolarized* RHCP

Untuk skenario polarisasi pertama adalah RHCP, dengan susunan antenna 4 elemen *right hand* pada transmitter dan 4 elemen *right hand* pada receiver seperti Gambar 3.6.



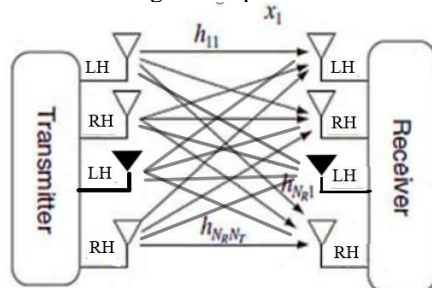
Gambar 3.7 Ilustrasi RHCP



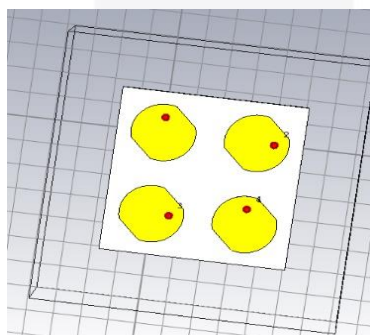
Gambar 3.8 Antena MIMO 4 elemen Right Hand tampak depan

e. Skenario Polarisasi III *Crosspolarization*

Untuk skenario polarisasi ketiga adalah *Cross polarization*, dengan susunan antena 4 elemen righthand-lefthand-lefthand-righthand pada transmitter dan 4 elemen righthand-lefthand-lefthand-righthand pada receiver.



Gambar 3.12 Ilustrasi *Cross polarization*



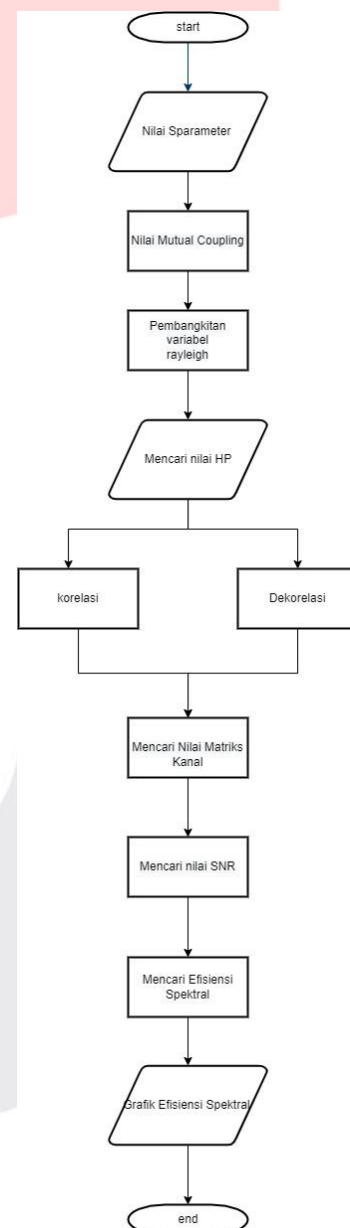
Gambar 3.13 Antena MIMO 4 elemen *Cross polarization* tampak depan

Antena dengan spesifikasi yang sudah ada [1], disimulasikan menggunakan 3 skenario diatas dan didapat nilai s-parameter untuk frekuensi 2,5 GHz sampai 4,5 GHz. Lalu s-parameter tersebut ditulis kedalam bentuk tabel perantena di Microsoft excel. Lalu dihitung nilai *mutual coupling* disetiap frekuensi perantena menggunakan persamaan(18). Setelah itu diambil nilai *mutual coupling* setiap antena

difrekuensi 3,5 GHz. Dan nilai *mutual coupling* ini akan menjadi input dalam desain perangkat lunak.

f. Desain Perangkat Lunak

Simulasi dibagi menjadi 3 source code yaitu LHCP, RHCP, dan *cross polarization*. Yang membedakannya hanya input, karena nilai s-parameter persusunan polarisasi berbeda.



Gambar 3.8 Flowchart Program

Dimulai dengan input data *mutual coupling* yang sudah dicari menggunakan data s-parameter. Input berupa tabel persusunan polarisasi.

Tabel 3.2 Nilai *Mutual coupling* Antena MIMO 4 element Left Hand

Antena	Frekuensi	Real	Imaginer	Mutual coupling
1.2	3,5	0,011749	-0,00168	-38,5118
1.3	3,5	-0,13257	0,015612	-17,491
1.4	3,5	-0,012	-0,00456	-37,8317
2.1	3,5	0,011749	-0,00168	-38,5118
2.3	3,5	0,039929	0,049806	-23,8987
2.4	3,5	-0,1326	0,016205	-17,4849
3.1	3,5	-0,13269	0,016306	-17,4782
3.2	3,5	0,040305	0,049627	-23,8856
3.4	3,5	0,011884	-0,00287	-38,2548
4.1	3,5	-0,01139	-0,00482	-38,1521
4.2	3,5	-0,13269	0,016897	-17,4734

4.3	3,5	0,011884	-0,00287	-38,2549
-----	-----	----------	----------	----------

Matriks *mutual coupling* untuk Left Hand :

$$C_{tx} = \begin{bmatrix} 1 & -38,5118 & -17,491 & -37,8317 \\ -38,5118 & 1 & -23,8987 & -17,4849 \\ -17,4782 & -23,8856 & 1 & -38,2548 \\ -38,1521 & -17,4734 & -38,2549 & 1 \end{bmatrix}$$

Tabel 3.3 Nilai *Mutual coupling* Antena MIMO 4 element Right Hand

Antena	Frekuensi	Real	Imaginer	Mutual coupling
1.2	3,5	-0,13235	0,015412858	-17,507
1.3	3,5	0,013312	-0,003031969	-37,2955
1.4	3,5	-0,01269	-0,00442225	-37,43
2.1	3,5	-0,13235	0,015408411	-17,5071
2.3	3,5	0,039432	0,049906109	-23,9303
2.4	3,5	0,014302	-0,002141633	-36,7955
3.1	3,5	0,013312	-0,00303156	-37,2955
3.2	3,5	0,039433	0,049906205	-23,9302
3.4	3,5	-0,1323	0,014795993	-17,5146

4.1	3,5	-0,01269	-0,004422262	-37,43
4.2	3,5	0,014302	-0,002142101	-36,7955
4.3	3,5	-0,1323	0,014800115	-17,5146

Matriks *mutual coupling* untuk *Right Hand* :

$$C_{tx} = \begin{bmatrix} 1 & -17,507 & -37,2955 & -37,43 \\ -17,5071 & 1 & -23,9303 & -36,7955 \\ -37,2955 & -23,9302 & 1 & -17,5146 \\ -37,43 & -36,7955 & -17,5146 & 1 \end{bmatrix}$$

Tabel 3.4 Nilai *Mutual coupling* Antena MIMO 4 element Cross polarization

Antena	Frekuensi	Real	Imaginer	Mutual coupling
1.2	3,5	-0,07549	0,005871	22,4166
1.3	3,5	-0,07823	0,018574	21,8939
1.4	3,5	-0,0358	-0,00977	28,6108
2.1	3,5	-0,07549	0,005868	22,4166
2.3	3,5	0,01079	0,047117	26,3145
2.4	3,5	-0,08566	0,015846	-21,198
3.1	3,5	-0,07824	0,018572	21,8939
3.2	3,5	0,01079	0,047117	26,3145
3.4	3,5	-0,08319	0,002826	21,5938
4.1	3,5	-0,0358	-0,00977	28,6109
4.2	3,5	-0,08566	0,015848	-21,198

4.3	3,5	-0,08319	0,002828	-21,5938
-----	-----	----------	----------	----------

Matriks *mutual coupling* untuk *Cross polarized* :

$$C_{tx} = \begin{bmatrix} 1 & -22,4166 & -21,8939 & -28,6108 \\ -22,4166 & 1 & -26,3145 & -21,198 \\ -21,8939 & -26,3145 & 1 & -21,5938 \\ -28,6109 & -21,198 & -21,5938 & 1 \end{bmatrix}$$

Setelah itu membangkitkan variabel random reyleigh, untuk mencari nilai HP. Lalu mencari nilai HP menggunakan persamaan (26) dan (27). Nilai HP mempunyai 2 kondisi, yaitu korelasi :

$$H_P = \sqrt{\begin{bmatrix} 1 & 0,9 & 0,9 & 0,9 \\ 0,9 & 1 & 0,9 & 0,9 \\ 0,9 & 0,9 & 1 & 0,9 \\ 0,9 & 0,9 & 0,9 & 1 \end{bmatrix}} \cdot \Gamma \cdot \sqrt{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}}$$

dan dekorelasi :

$$H_P = \sqrt{\begin{bmatrix} 1 & 0,9 & 0,9 & 0,9 \\ 0,9 & 1 & 0,9 & 0,9 \\ 0,9 & 0,9 & 1 & 0,9 \\ 0,9 & 0,9 & 0,9 & 1 \end{bmatrix}} \cdot \Gamma \cdot \sqrt{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}}$$

saat berkorelasi $\gamma_{rx} = 0.9$ dan saat dekorelasi $\gamma_{rx} = 0$

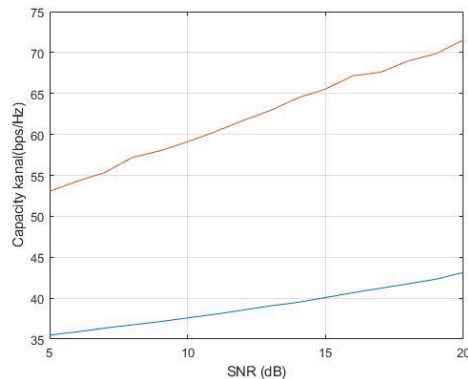
Mulai dari HP, langkah seterusnya akan menjadi 2 kondisi, korelasi dan dekorelasi. Setelah nilai HP dan nilai *mutual coupling* sudah ada, langkah selanjutnya adalah mencari nilai matriks kanal per antena menggunakan persamaan (25). Lalu matriks kanal tersebut dirata-ratakan menggunakan persamaan (23). Setelah itu langkah selanjutnya adalah mencari nilai SNR yang merupakan sumbu x pada grafik output. Langkah selanjutnya adalah mencari nilai efisiensi spektral menggunakan persamaan (21). Dan yang terakhir memanggil *output* berupa grafik efisiensi spektral, dimana nilai efisiensi

spektral adalah sumbu y pada grafik, dan SNR sebagai sumbu x pada grafik.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Co polarization Left Hand

Pada susunan co polarisasi LH nilai efisiensi spektral tertinggi adalah saat dekorelasi ditunjukkan oleh grafik merah dengan nilai terendah adalah 53 bps/Hz. Sedangkan korelasi ditunjukkan oleh grafik biru dengan nilai terendah 35 bps/Hz. Dapat dilihat pada **Gambar 4.1**, kenaikan nilai dekorelasi lebih tinggi daripada korelasi, contohnya saat nilai SNR 5 menuju 10 nilai dekorelasi mengalami kenaikan dari 53bps/Hz ke 59bps/Hz yaitu 6bps/Hz, sedangkan nilai SNR 5 menuju 10 saat korelasi mengalami kenaikan dari 35bps/Hz ke 37,5bps/Hz yaitu hanya 2,5bps/Hz.

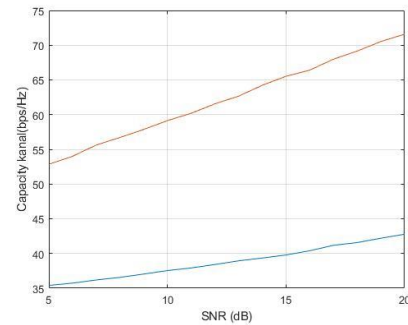


= kondisi korelasi
= kondisi dekorelasi

Gambar 4.1 Hasil simulasi left hand co polarized

b. Copolarization Right Hand

Pada susunan co polarisasi RH nilai efisiensi spektral tertinggi adalah saat dekorelasi ditunjukkan oleh grafik merah dengan nilai terendah adalah 53 bps/Hz. Sedangkan korelasi ditunjukkan oleh grafik biru dengan nilai terendah 35 bps/Hz. Dapat dilihat pada **Gambar 4.2**, kenaikan nilai dekorelasi lebih tinggi daripada korelasi, contohnya saat nilai SNR 5 menuju 10 nilai dekorelasi mengalami kenaikan dari 53bps/Hz ke 59bps/Hz yaitu 6bps/Hz, sedangkan nilai SNR 5 menuju 10 saat korelasi mengalami kenaikan dari 35bps/Hz ke 37,5bps/Hz yaitu hanya 2,5bps/Hz.

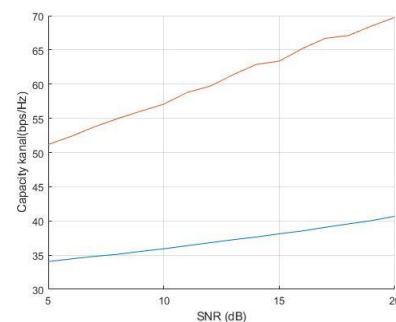


= kondisi korelasi
= kondisi dekorelasi

Gambar 4.2 Hasil simulasi right hand co polarized

c. Cross polarization

Pada susunan cross polarized nilai efisiensi spektral tertinggi adalah saat dekorelasi ditunjukkan oleh grafik merah dengan nilai terendah adalah 53 bps/Hz. Sedangkan korelasi ditunjukkan oleh grafik biru dengan nilai terendah 35 bps/Hz. Dapat dilihat pada **Gambar 4.3**, kenaikan nilai dekorelasi lebih tinggi daripada korelasi, contohnya saat nilai SNR 5 menuju 10 nilai dekorelasi mengalami kenaikan dari 53bps/Hz ke 59bps/Hz yaitu 6bps/Hz, sedangkan nilai SNR 5 menuju 10 saat korelasi mengalami kenaikan dari 35bps/Hz ke 37,5bps/Hz yaitu hanya 2,5bps/Hz.



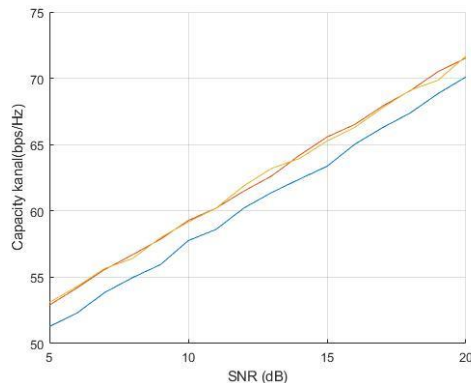
= kondisi korelasi
= kondisi dekorelasi

Gambar 4.3 Hasil simulasi cross polarized

d. Analisis Performansi Kanal Kondisi Dekorelasi

Gambar 4.2 merupakan hasil dari simulasi ke 3 skenario susunan polarisasi co polarized dan cross polarized dalam kondisi dekorelasi pada antenna penerima (Rx). Dapat dilihat pada **Gambar 4.4** nilai efisiensi spektral tertinggi ada pada susunan polarisasi co polarization left hand

dan right hand yang berhimpitan ditunjukkan pada grafik kuning dan merah. Sedangkan pada susunan polarisasi *cross polarization* ditunjukkan pada grafik warna biru. Perbedaan susunan polarisasi menghasilkan output grafik susunan *cross polarized* sejajar dengan susunan *co polarized*. Dan dapat dilihat nilai kapasitas terendah dari susunan polarisasi *co polarization* adalah 53 bps/Hz

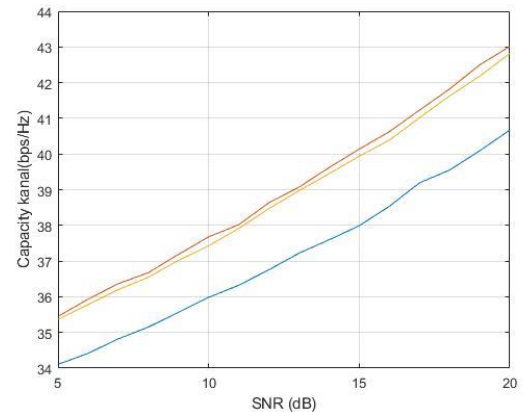


= MIMO *Co polarization* Right Hand
 = MIMO *Co polarization* Left Hand
 = MIMO *Cross polarization*

Gambar 4.4 Hasil simulasi pada kondisi low correlation

e. Analisis Output Kondisi Berkorelasi Tinggi

Gambar 4.3 merupakan hasil dari simulasi ke 3 skenario susunan polarisasi *co polarized* dan *cross polarized* dalam kondisi berkorelasi tinggi pada antenna penerima (Rx). Dapat dilihat pada **Gambar 4.5** nilai efisiensi spektral tertinggi ada pada susunan polarisasi *Co polarization* left hand dan right hand ditunjukkan pada grafik kuning dan merah. Sedangkan pada susunan polarisasi *cross polarization* ditunjukkan pada grafik biru. Perbedaan susunan polarisasi menghasilkan output grafik susunan *cross polarized* sejajar dengan susunan *co polarized*. Dan dapat dilihat nilai kapasitas terendah dari susunan polarisasi *co polarization* adalah 35,5 bps/Hz.



= MIMO *Co polarization* Right Hand
 = MIMO *Co polarization* Left Hand
 = MIMO *Cross polarization*

Gambar 4.5 Hasil simulasi pada kondisi high correlation

V. KESIMPULAN

Pada Simulasi kanal MIMO dengan 3 skenario susunan polarisasi *co polarized Left hand*, *co polarized right hand*, dan *cross polarized Left hand-right hand* dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Korelasi dan dekorelasi memiliki *output* yang berbeda pada efisiensi spektral, saat disimulasikan. Dengan nilai terendah *cross polarization* 51 bps/Hz dan *co polarization* 53 bps/Hz pada dekorelasi. Sedangkan pada korelasi, nilai terendah untuk *cross polarization* adalah 34 bps/Hz dan nilai terendah untuk *co polarization* adalah 35,5 bps/Hz.
2. Pada semua skenario susunan polarisasi, nilai efisiensi spektral terbesar saat susunan polarisasi *co polarization* berkorelasi rendah dengan nilai terendah 53 bps/Hz. Penyusunan polarisasi berpengaruh pada nilai efisiensi spektral.
3. Dilihat dari pola grafik *outputnya*, susunan polarisasi *co polarized left hand* dan *co polarized right hand* berhimpitan padan grafiknya karena susunan pada saat *co polarized* LH maupun RH mirip, dan dari nilai s-parameternya juga nilai *co polarized* LH maupun RH mirip. Ditunjukkan oleh nilai terendah 53 bps/Hz pada dekorelasi dan 35,5 bps/Hz untuk korelasi. Sedangkan susunan polarisasi *co polarized* dengan *cross polarized*

sejajar dengan perbedaan nilai yang tidak terlalu besar dengan nilai terendah *cross polarization* 51 bps/Hz untuk dekorelasi dan 34 bps/Hz untuk korelasi.

4. *Co polarized* memiliki nilai yang lebih tinggi dari *cross polarized* dikarenakan susunan *cross polarized* masih belum optimal.

REFERENSI

- [1] W. E. L., P. A. A. and Y. T., "PENGATURAN POLARISASI ELEMEN PATCH SINGKULAR PADA SISTEM ANTENA MIMO SUSUNAN BIDANG UNTUK KOMUNIKASI 5G POLARIZATION ARRANGEMENT OF CIRCULAR PATCH ELEMENT IN PLANE FORMATION MIMO ANTENNA SYSTEM FOR 5G COMMUNICATION," 2020.
- [2] A. F. W., A. N. M. and S. B., "MENGUNAKAN PATCH CIRCULAR DAN PATCH RECTANGULAR DENGAN SLOTTED-PATCH UNTUK AKSES RADIO 5G FREKUENSI 15 GHZ DESIGN AND ANALYSIS MIMO 8×8 ARRAY USING PATCH CIRCULAR AND PATCH RECTANGULAR WITH SLOTTED-PATCH ANTENNA FOR RADIO ACCESS 5G FREQUENCY 15 GHZ.," 2018.
- [3] A. RIZKI, "PENGARUH PENYUSUNAN POLARISASI PADA SISTEM ANTENA MIMO TERHADAP KAPASITAS KANAL NARROWBAND," 2019.
- [4] S. P. A.A, S. Eka and M. M. Rose, "MIMO Antenna with Cross Polarisation Printed Yagi," 2017.
- [5] A. Pramudita, S. and D. . D. Ariananda, "Array of Eight Circularly Polarized Microstrip," 2018.
- [6] E. T. RADJAGUKGUK, "ANTENA MIKROSTRIP DENGAN KEMAMPUAN REKONFIGURASI UNTUK DIVERSITAS FREKUENSI DAN POLARISASI REKONFIGURABLE MICROSTRIP ANTENNA WITH FREQUENCY AND POLARIZATION," 2011.
- [7] B. W. Saragih, "ANALISA PERFORMANSI KAPASITAS KANAL MIMO PADA KANAL FADING RAYLEIGH DAN RICEAN," 2008.
- [8] f. w. pangesti, "implementasi teknik diversitas antena untuk perbaikan daya terima antena tv pada mobil," 2012.
- [9] W. J. PRASETYO, "PERBANDINGAN KINERJA SISTEM MIMO STBC MENGGUNAKAN ANTENA DUAL POLARISASI DAN POLARISASI VERTIKAL," p. 16, 2009.
- [10] S. MUMTAZ, "PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA METAMATERIAL 3,5 GHZ UNTUK TEKNOLOGI 5G".
- [11] E. L. Wijaya, A. A. Pramudita and T. Yunita, "Pengaturan Polarisasi Elemen Patch Sirkular pada Sistem Antena MIMO Susunan Bidang untuk Komunikasi 5G".
- [12] L. P., K. F. and A. S.M., "Antenna parameter effects on spatial channel models," 2009.
- [13] B. P. Lathi, Modern Digital and Analog Communication System (Third Edition), New York, 1998.
- [14] H. W. INDRAMOTO, "ANTENA MIMO PATCH TRIANGULAR DENGAN PENAMBAHAN SLOT PADA UNTUK APLIKASI 5G," 2020.