

Analisis Pengaruh *Mutual Coupling* Terhadap Kapasitas Sistem Mimo Yang Menggunakan Antena Berpolarisasi Sirkular

1st Mawarni Bagasta Simanjuntak
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

mawarnisimanjuntak@telkomuniver
sity.ac.id

2nd Trasma Yunita
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

trasmayunita@telkomuniversity.ac.i
d

3rd Levy Olivia Nur
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

leviolivia@telkomuniversity.ac.id

Abstrak—Komunikasi nirkabel saat ini harus memenuhi tuntutan seperti kecepatan data yang tinggi, peningkatan kapasitas, kualitas tinggi, dan keandalan yang tinggi untuk aplikasi yang berbeda. Sistem Multiple Input Multiple Output (MIMO) menyediakan teknologi yang sesuai untuk persyaratan ini tanpa memerlukan bandwidth tambahan atau daya pancar dengan menyebarkan beberapa antena, dengan jarak elemen yang cukup dan jumlah elemen yang benar. Sistem antena MIMO mensyaratkan nilai mutual coupling dan korelasi yang baik agar antar elemen tidak saling mempengaruhi. Tugas Akhir ini bertujuan untuk menganalisis antena MIMO berdasarkan teknik diversitas polarisasi, dengan melihat pengaruhnya terhadap kapasitas kanal. Tugas Akhir ini difokuskan pada analisis pengaruh mutual coupling antar elemen antena untuk melihat pengaruhnya terhadap kapasitas kanal. Telah disimulasikan beberapa konfigurasi antena yang sudah ada dari penelitian sebelumnya pada kondisi kanal Rayleigh, menggunakan aplikasi Matlab. Kapasitas terbesar yaitu 116 bps/Hz untuk skenario cross polarisasi L-R-L-R elemen atas R-L-R-L elemen bawah pada SNR 20 dB.. Simulasi dilakukan dengan 2 skenario co-polarisasi dan 4 cross polarisasi. tiap skenario tersebut dianalisis pada 2 kondisi yaitu dekorelasi dan korelasi. Kapasitas kanal dengan kondisi dekorelasi memiliki nilai peningkatan kapasitas sekitar 2 kali lebih besar daripada kondisi korelasi pada SNR 20 dB.

Kata Kunci — mutual coupling, antena MIMO, kapasitas kanal

Abstract—Wireless communication has to face challenges such as high data rate, increased capacity, high quality, and high for different applications. Multiple Input Multiple Output (MIMO) systems provide the appropriate technology for these requirements without the need for additional bandwidth or transmit power by deploying multiple antennas, with sufficient element spacing and the

correct number of elements. The MIMO antenna system requires good mutual coupling and correlation values so that the elements do not affect each other. This final project aims to analyze the MIMO antenna based on the polarization diversity technique, by looking at its effect on the channel capacity. This final project analyzes the effect of mutual coupling between antenna elements to see its effect on channel capacity. Several existing antenna configurations have been simulated from previous research on Rayleigh channel conditions, using the Matlab application, the largest capacity is 116 bps/Hz for the L-R-L-R cross polarization scenario of the upper element R-L-R-L of the lower element at an SNR of 20 dB. Simulations were carried out with 2 co-polarization scenarios and 4 cross polarization scenarios. Each scenario is analyzed under 2 conditions, namely decorrelation and correlation. Channel capacity with decorrelation condition has a capacity increase of about 2 times greater than the correlation condition at 20 dB SNR.

Keywords— mutual coupling, MIMO antenna, channel capacity

I. PENDAHULUAN

Sistem *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) merupakan teknologi yang berpotensi untuk dikembangkan dalam meningkatkan kapasitas kanal. Peningkatan kapasitas kanal pada sistem MIMO tidak hanya ditentukan oleh jumlah antena yang digunakan, namun ditentukan oleh karakteristik dan konsep penyusunan antena [1].

Kinerja suatu sistem antena MIMO yang baik tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah antena, tetapi juga dipengaruhi oleh karakteristik antena dan juga bentuk penyusunannya. Hal tersebut terkait dengan nilai mutual coupling yang

ditimbulkan akibat polarisasi pada masing-masing elemen pada antenna MIMO. Perancangan antenna MIMO mensyaratkan aspek *mutual coupling* yang rendah. Tetapi *mutual coupling* tidak selalu diperoleh sesuai dengan dengan syarat yang diinginkan, yaitu < -20 dB.

Dalam penelitian yang telah dilakukan sebelumnya [2] menyatakan bahwa kapasitas kanal yang ditinjau berdasarkan nilai efisiensi spektral pada antenna MIMO yang berukuran 4×4 yang telah disimulasikan, untuk penyusunan *Cross-polarization* didapatkan Kapasitas kanal pada antenna simulasi sebesar 4,804 bps/Hz pada SNR 5 dB, dan sebesar 4,833 bps/Hz pada SNR yang sama untuk *Co-polarization*. Sementara itu, pada SNR 20 dB, diperoleh efisiensi spektral sebesar 18,065 bps/Hz untuk antenna MIMO *Cross-polarization*, dan 18,078 bps/Hz untuk antenna MIMO *Co-polarization*. Penelitian lainnya [3] juga menyatakan bahwa 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.

Berdasarkan latar belakang tersebut, dalam penelitian ini dianalisis kapasitas kanal sistem MIMO 8 elemen dengan skenario arah polarisasi *co-polarization* dengan susunan RHCP-RHCP dan LHCP-LHCP, kemudian skenario *Cross-polarization* dengan susunan pertama RHCP-LHCP-RHCP-LHCP pada elemen atas kemudian LHCP-RHCP-LHCP-RHCP pada elemen bawah. Susunan kedua LHCP-RHCP-LHCP-RHCP pada elemen atas, kemudian RHCP-LHCP- RHCP-LHCP pada elemen bawah. Susunan ketiga RHCP-LHCP-RHCP-LHCP pada elemen atas, kemudian RHCP-LHCP-RHCP-LHCP pada elemen bawah. Susunan keempat LHCP-RHCP-LHCP-RHCP untuk susunan atas, kemudian LHCP-RHCP-LHCP-RHCP . Masing-masing polarisasi tersebut dibandingkan dalam 2 kondisi, yaitu korelasi dan dekorelasi pada antenna penerima (Rx).

II. KAJIAN TEORI

A. MIMO

Multiple Input Multiple Output adalah penggunaan *multiple* antenna baik di pemancar maupun di penerima juga untuk meningkatkan performansi telekomunikasi [4]. Sistem *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) merupakan sistem penyusun lebih dari satu antenna 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 [5].

B. Mutual Coupling

Mutual coupling adalah interaksi elektromagnetik antara elemen antenna dalam *array* [8]. Arus yang dikembangkan di setiap elemen antenna *array* tergantung pada pencatutan dan juga pada kontribusi dari elemen antenna yang berdekatan. *Mutual coupling* berbanding terbalik dengan jarak antara elemen antenna yang berbeda dalam *array*. *Mutual coupling* pada antenna *array* menyebabkan perubahan pola radiasi *array* dan perubahan impedansi *input* dari elemen antenna individu dalam *array*.

C. Polarisasi Sirkular

Polarisasi adalah gambaran orientasi medan listrik dalam arah propagasinya. Polarisasi dapat diartikan sebagai penyearah gerak getaran gelombang. Beberapa hal tentang polarisasi [11]:

- Polarisasi gelombang berkaitan dengan orientasi vektor medan listrik yang dibnagkitkan saat pemancaran.
- Jika pemasangan antenna Rx tidak sesuai dengan polarisasi gelombang maka yang diterima akan lebih kecil: terjadi "*polarization mismatch*".
- Untuk orientasi yang sesuai maka penerimaan daya akan maksimum (polarisasi medan = polarisasi antenna).

D. Kapasitas Kanal

Kapasitas kanal adalah kecepatan pengiriman suatu data maksimum dengan probabilitas *error* kecil [13]. Kapasitas kanal ditinjau dari nilai efisiensi spektral. Efisiensi spektral adalah jumlah

dari banyak efisiensi pengirim data pada sebuah sel dalam jaringan selular dan satuannya bps/Hz. Adapun tahapan perhitungan kapasitas kanal meliputi mencari nilai dan matriks propagasi dengan rumus sebagai berikut

$$Hp = \sqrt{R_{tx}} \cdot \Gamma \cdot \sqrt{R_{rx}} \quad (1)$$

Dimana Γ merupakan variable random rayleigh

Pada penelitian ini diasumsikan bahwa *mutual coupling* pada penerima bersifat ideal. Propagasi kanal dan efek kopling dikelompokkan menjadi satu matriks kanal yang dilambangkan sebagai [7]

$$H = \sqrt{C_{mc}^{tx}} \cdot Hp \cdot \sqrt{C_{mc}^{rx}} \quad (2)$$

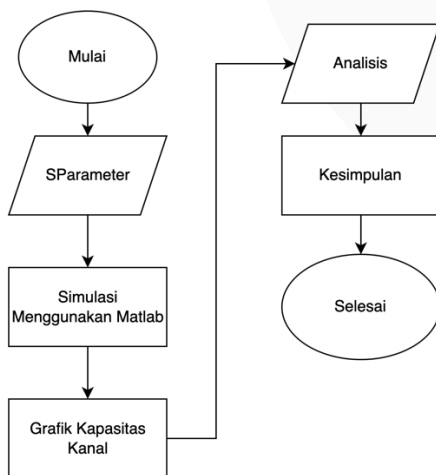
Dimana : $C_{mc}^{tx} = R_{tx} = I_{N_{tx}}$

E. Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena yang berbentuk papan tipis dan mampu bekerja pada frekuensi yang sangat tinggi. Antena mikrostrip dibuat dengan menggunakan sebuah substrat yang mempunyai tiga buah lapisan struktur dari substrat. Lapisan-lapisan tersebut adalah Trace, Dielektrik, dan Groundplane [12].

III. METODE

A. Skema Penelitian



Gambar 1 Diagram Skema Penelitian

Pada penelitian ini, terdapat tahapan dalam melakukan penelitian, yaitu pada tahap pertama, mengambil data mutual coupling dari penelitian sebelumnya sebagai input pada simulasi yang dilakukan. Tahapan kedua, melakukan simulasi program menggunakan Aplikasi matlab. Tahapan ketiga, akan muncul output berupa grafik kapasitas kanal terhadap SNR. Tahapan keempat, menganalisis output hasil yang telah diperoleh dari simulasi. Terakhir, menarik kesimpulan. Skema penelitian ini digambarkan pada Gambar 1.

B. Perancangan Simulasi

Parameter simulasi yang digunakan pada perancangan simulasi penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

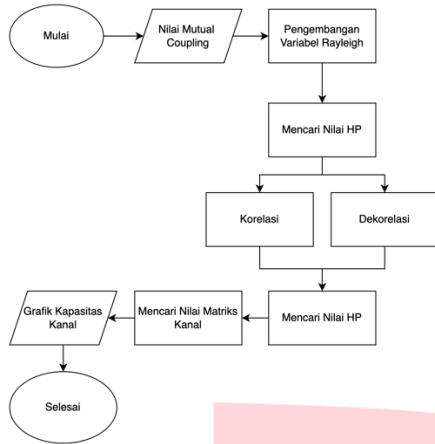
Tabel 1 Parameter Simulasi

Spesifikasi	Deskripsi
Frekuensi Kerja	3.5 GHz
MIMO	8 x 8
Korelasi	0.9
Dekorelasi	0
Polarisasi	Sirkular (co polarisasi & cross polarisasi)
Link Komunikasi	Kanal Rayleigh

C. Skenario Simulasi

Tugas Akhir ini dilakukan penelitian terhadap antena 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 antena dari penelitian sebelumnya. Kemudian akan dilakukan simulasi dari data yang sudah ada dan disimulasikan, untuk mendapatkan data berupa kapasitas kanal. Lalu akan dilakukan analisis tentang pengaruh *mutual coupling* terhadap kanal berdasarkan data yang sudah didapatkan. Penyusunan polarisasi yang dilakukan ada 6, diantaranya 2 skenario *co-polarization* dan 4 skenario *Cross-polarization*

D. Desain Perangkat Lunak



GAMBAR 2 Flowchart Diagram

Simulasi dibagi menjadi beberapa skenario polarisasi sirkular, yang membedakannya hanya *input* karena nilai *mutual coupling* persusunan polarisasi berbeda. Dimulai dengan *input* data *mutual coupling* yang sudah dicari. *Input* berupa tabel persusunan polarisasi. Kemudian, inisiasi variable random rayleigh. Selanjutnya, deklarasikan rumus matriks propagasi (1). lalu, analisis terhadap 2 kondisi kanal yaitu berkorelasi dan tidak berkorelasi pada sisi penerima dengan rumus (2). kemudian,

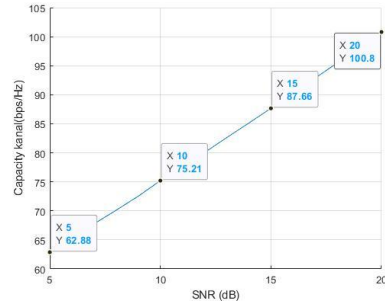
Mutual coupling dari penelitian sebelumnya bersatuan dB, berdasarkan rumus (2) dilakukan perkalian skalar. Untuk memperoleh hasil yang sesuai, maka nilai *mutual coupling* diubah menjadi nilai numerik sehingga perkalian yang dilakukan konstan. Diagram desain perangkat lunak digambarkan pada Gambar 2.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

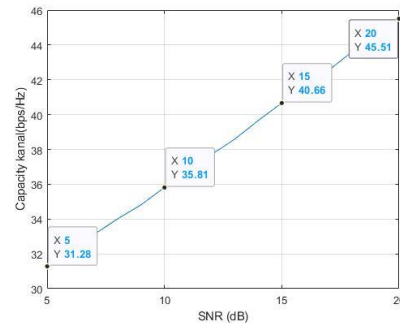
A. Co-polarization

Pada simulasi co-polarisasi terdapat 2 skenario yang dianalisis. Pada skenario pertama dengan susunan elemen R-R-R-R pada elemen atas dan R-R-R-R pada elemen bawah. Kemudian, pada skenario kedua disusun dengan L-L-L-L pada elemen atas, dan L-L-L-L pada elemen bawah. Masing-masing skenario disusun arah polarisasi yang sejenis.

1. RHCP



GAMBAR 3 Output Simulasi Co-polarization RHCP Dekorelasi



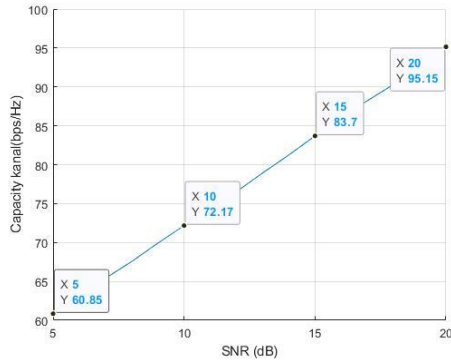
GAMBAR 4 Output Simulasi Co-polarization RHCP Korelasi

Pada Gambar 3 dan Gambar 4 terlihat bahwa nilai kapasitas kanal yang diperoleh pada kondisi dekorelasi dengan nilai lebih besar yaitu 100,8 bps/Hz, sementara pada kondisi korelasi yaitu 45,51 bps/Hz. Terdapat selisih sebesar 55,29 bps/Hz pada kapasitas kanal dengan SNR 20 dB.

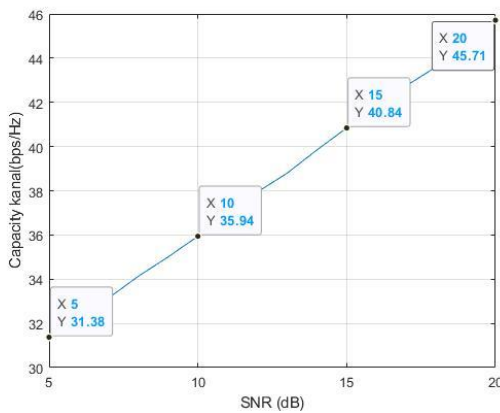
Kemudian, untuk peningkatan kapasitas kanal dalam kondisi dekorelasi dari SNR 5 dB hingga 10 dB terjadi sebesar 16%, (12,33 bps/Hz) dari SNR 10 dB hingga 15 dB terjadi sebesar 14% (12,45 bps/Hz), dari SNR 15 dB hingga 20 dB terjadi sebesar 13% (13,14 bps/Hz).

Untuk peningkatan kapasitas kanal dalam kondisi korelasi dari SNR 5 dB hingga 10 dB terjadi sebesar 12%, (4,53 bps/Hz) dari SNR 10 dB hingga 15 dB terjadi sebesar 12% (4,85 bps/Hz), dari SNR 15 dB hingga 20 dB terjadi sebesar 10% (4,85 bps/Hz).

2. LHCP



GAMBAR 5 Output Simulasi Co-polarization LHCP Dekorelasi



GAMBAR 6 Output Simulasi Co-polarization LHCP Korelasi

Pada Gambar 5 dan Gambar 6 terlihat bahwa nilai kapasitas kanal yang diperoleh pada kondisi dekorelasi dengan nilai lebih besar yaitu 95,15 bps/Hz, sementara pada kondisi korelasi yaitu 45,71 bps/Hz. Terdapat selisih sebesar 90,44 bps/Hz pada kapasitas kanal dengan SNR 20 dB.

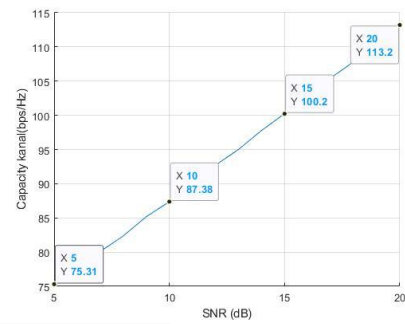
Kemudian, untuk peningkatan kapasitas kanal dalam kondisi dekorelasi dari SNR 5 dB hingga 10 dB terjadi sebesar 15%, (11,32 bps/Hz) dari SNR 10 dB hingga 15 dB terjadi sebesar 13% (11,53 bps/Hz), dari SNR 15 dB hingga 20 dB terjadi sebesar 12% (11,45 bps/Hz).

Untuk peningkatan kapasitas kanal dalam kondisi korelasi dari SNR 5 dB hingga 10 dB terjadi sebesar 12,6%, (4,56 bps/Hz) dari SNR 10 dB hingga 15 dB terjadi sebesar 12% (4,9 bps/Hz), dari SNR 15 dB hingga 20 dB terjadi sebesar 10% (4,87 bps/Hz).

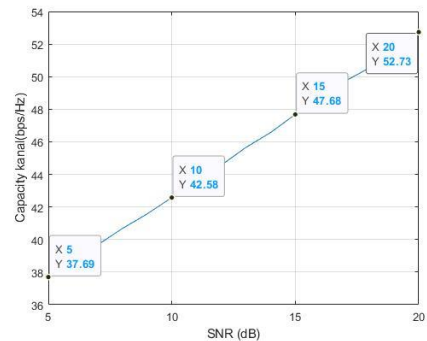
B. Cross-polarization

Pada simulasi co-polarisasi terdapat 4 skenario yang dianalisis. Pada skenario pertama dengan susunan elemen R-L-R-L pada elemen atas dan L-R-L-R pada elemen bawah. Kemudian, pada skenario kedua disusun dengan L-R-L-R pada elemen atas, dan R-L-R-L pada elemen bawah. Selanjutnya, pada skenario ketiga disusun dengan R-L-R-L pada elemen atas, dan R-L-R-L pada elemen bawah. Lalu, pada skenario keempat disusun dengan L-R-L-R pada elemen atas dan L-R-L-R pada elemen bawah. Masing-masing skenario disusun arah polarisasi yang tidak sejenis.

1. R-L-R-L (elemen atas) L-R-L-R (elemen bawah)



GAMBAR 7 Output Simulasi Cross-polarization R-L-R-L elemen atas L-R-L-R elemen bawah Dekorelasi



GAMBAR 8 Output Simulasi Cross-polarization R-L-R-L elemen atas L-R-L-R elemen bawah Korelasi

Pada Gambar 7 dan Gambar 8 terlihat bahwa nilai kapasitas kanal yang diperoleh pada kondisi dekorelasi dengan nilai lebih besar yaitu 113,2 bps/Hz, sementara pada kondisi korelasi yaitu 52,73 bps/Hz. Terdapat selisih sebesar 60,47 bps/Hz pada kapasitas kanal.

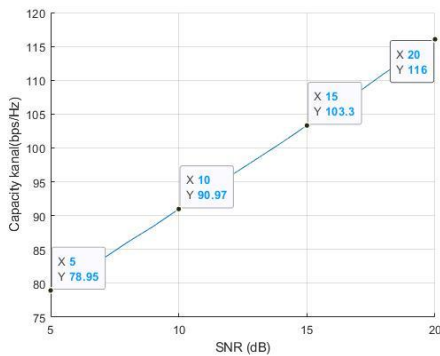
Kemudian, untuk peningkatan kapasitas kanal dalam kondisi dekorelasi dari SNR 5 dB hingga 10 dB terjadi sebesar 13%, (12,07 bps/Hz) dari SNR 10 dB hingga 15 dB terjadi sebesar 12% (12,82 bps/Hz), dari SNR 15 dB hingga 20 dB terjadi sebesar 11% (13 bps/Hz).

Untuk peningkatan kapasitas kanal dalam kondisi korelasi dari SNR 5 dB hingga 10 dB terjadi sebesar 11%, (4,89 bps/Hz) dari SNR 10 dB hingga 15 dB terjadi sebesar 10% (5,1 bps/Hz), dari SNR 15 dB hingga 20 dB terjadi sebesar 9% (5,05 bps/Hz).

Kemudian, untuk peningkatan kapasitas kanal dalam kondisi dekorelasi dari SNR 5 dB hingga 10 dB terjadi sebesar 13%, (12,02 bps/Hz) dari SNR 10 dB hingga 15 dB terjadi sebesar 12% (12,33 bps/Hz), dari SNR 15 dB hingga 20 dB terjadi sebesar 11% (12,7 bps/Hz).

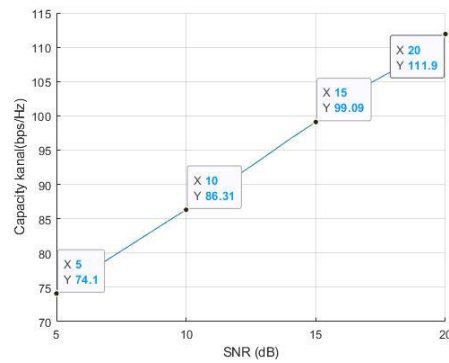
Untuk peningkatan kapasitas kanal dalam kondisi korelasi dari SNR 5 dB hingga 10 dB terjadi sebesar 10,8%, (4,93 bps/Hz) dari SNR 10 dB hingga 15 dB terjadi sebesar 10,4% (5,32 bps/Hz), dari SNR 15 dB hingga 20 dB terjadi sebesar 9% (5,18 bps/Hz).

2. L-R-L-R (elemen atas) R-L-R-L (elemen bawah)

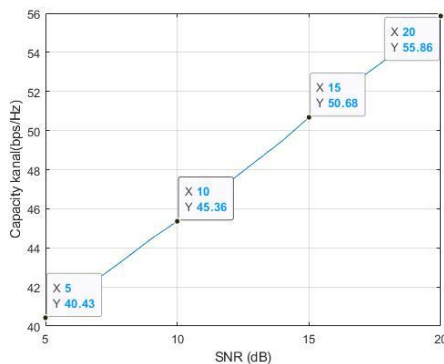


GAMBAR 9 Output Simulasi Cross-polarization L-R-L-R elemen atas R-L-R-L elemen bawah Dekorelasi

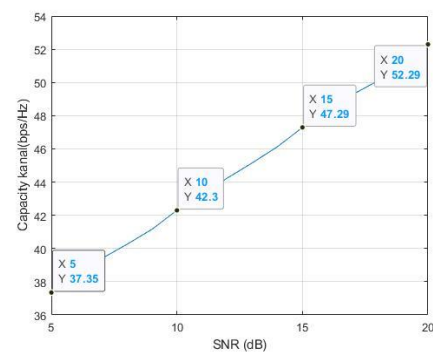
3. R-L-R-L (elemen atas) R-L-R-L (elemen bawah)



GAMBAR 11 Output Simulasi Cross-polarization R-L-R-L elemen atas R-L-R-L elemen bawah Dekorelasi



GAMBAR 10 Output Simulasi Cross-polarization L-R-L-R elemen atas R-L-R-L elemen bawah Korelasi



GAMBAR 12 Output Simulasi Cross-polarization R-L-R-L elemen atas R-L-R-L elemen bawah Korelasi

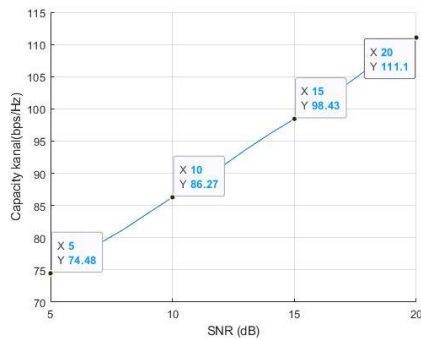
Pada Gambar 9 dan Gambar 10 terlihat bahwa nilai kapasitas kanal yang diperoleh pada kondisi dekorelasi dengan nilai lebih besar yaitu 116 bps/Hz, sementara pada kondisi korelasi yaitu 55,86 bps/Hz. Terdapat selisih sebesar 60,14 bps/Hz pada kapasitas kanal.

Pada Gambar 11 dan Gambar 12 terlihat bahwa nilai kapasitas kanal yang diperoleh pada kondisi dekorelasi dengan nilai lebih besar yaitu 111,9 bps/Hz, sementara pada kondisi korelasi yaitu 52,29 bps/Hz. Terdapat selisih sebesar 59,61 bps/Hz pada kapasitas kanal.

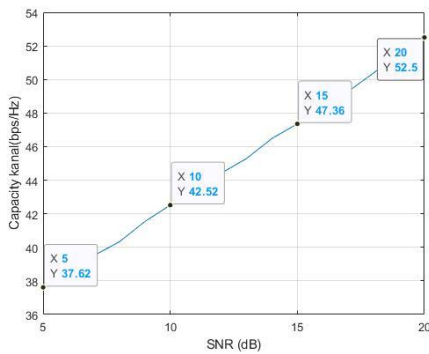
Kemudian, untuk peningkatan kapasitas kanal dalam kondisi dekorelasi dari SNR 5 dB hingga 10 terjadi sebesar 14%, (12,21 bps/Hz) dari SNR 10 dB hingga 15 dB terjadi sebesar 12% (12,78 bps/Hz), dari SNR 15 dB hingga 20 dB terjadi sebesar 11% (12,81 bps/Hz).

Untuk peningkatan kapasitas kanal dalam kondisi korelasi dari SNR 5 dB hingga 10 dB terjadi sebesar 11%, (4,95 bps/Hz) dari SNR 10 dB hingga 15 dB terjadi sebesar 10% (4,99 bps/Hz), dari SNR 15 dB hingga 20 dB terjadi sebesar 9% (5 bps/Hz).

4. L-R-L-R (elemen atas) L-R-L-R (elemen bawah)



GAMBAR 13 Output Simulasi Cross-polarization L-R-L-R elemen atas L-R-L-R elemen bawah Dekorelasi



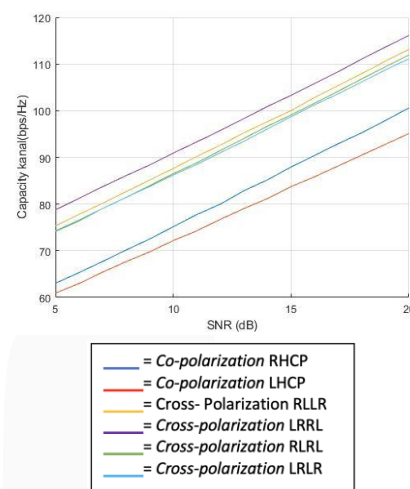
GAMBAR 14 Output Simulasi Cross-polarization L-R-L-R elemen atas L-R-L-R elemen bawah Korelasi

Pada Gambar 13 dan Gambar 14 terlihat bahwa nilai kapasitas kanal yang diperoleh pada kondisi dekorelasi dengan nilai lebih besar yaitu 111,1 bps/Hz, sementara pada kondisi korelasi yaitu 52,5 bps/Hz. Terdapat selisih sebesar 58,6 bps/Hz pada kapasitas kanal.

Kemudian, untuk peningkatan kapasitas kanal dalam kondisi dekorelasi dari SNR 5 dB hingga 10 dB terjadi sebesar 13%, (11,79 bps/Hz) dari SNR 10 dB hingga 15 dB terjadi sebesar 12% (12,16 bps/Hz), dari SNR 15 dB hingga 20 dB terjadi sebesar 11% (12,67 bps/Hz).

Untuk peningkatan kapasitas kanal dalam kondisi korelasi dari SNR 5 dB hingga 10 dB terjadi sebesar 11%, (4,9 bps/Hz) dari SNR 10 dB hingga 15 dB terjadi sebesar 10% (4,84 bps/Hz), dari SNR 15 dB hingga 20 dB terjadi sebesar 9% (5,14 bps/Hz).

C. Dekorelasi

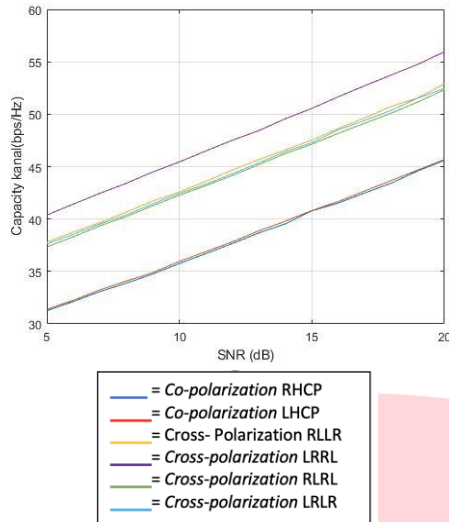


GAMBAR 15 Output Simulasi Co-polarization dan Cross-polarization dengan Kondisi Dekorelasi

Pada Gambar 15 terlihat output simulasi yang terdiri dari 6 skenario gabungan dari co-polarisasi dan cross polarisasi dengan kondisi dekorelasi pada antenna penerima (Rx). Untuk skenario co-polarisasi RHCP dan LHCP, grafik berhimpit karena memiliki nilai kapasitas kanal yang hampir mirip. Kapasitas terbesar ditemukan pada skenario RHCP yaitu 100,8 bps/Hz, sementara pada skenario LHCP yaitu 95,15 bps/Hz.

Untuk skenario cross-polarisasi berhimpit karena memiliki nilai kapasitas kanal yang hampir mirip juga. Kapasitas terbesar ditemukan pada skenario L-R-L-R (elemen atas) L-R-L-R (elemen bawah) yaitu 116 bps/Hz. Sementara kapasitas terkecil ditemukan pada skenario L-R-L-R (elemen atas) L-R-L-R (elemen bawah) yaitu 111,1 bps/Hz.

D. Korelasi



GAMBAR 16 Output Simulasi Co-polarization dan Cross-polarization dengan Kondisi Dekorelasi

Pada Gambar 16 terlihat output simulasi yang terdiri dari 6 skenario gabungan dari co-polarisasi dan cross polarisasi dengan kondisi korelasi pada antena penerima (Rx). Untuk skenario co-polarisasi RHCP dan LHCP, grafik berhimpit karena memiliki nilai kapasitas kanal yang hampir mirip. Kapasitas pada skenario LHCP yaitu 45,71 bps/Hz, sementara pada skenario RHCP yaitu 45,51 bps/Hz.

Untuk skenario cross-polarisasi, grafik tidak berhimpit karena memiliki nilai kapasitas kanal yang beragam. Kapasitas terbesar ditemukan pada skenario L-R-L-R (elemen atas) R-L-R-L (elemen bawah) yaitu 55,86 bps/Hz, sementara kapasitas terkecil ditemukan pada skenario R-L-R-L (elemen atas) R-L-R-L (elemen bawah) yaitu 52,5 bps/Hz.

V. KESIMPULAN

Pada penelitian Tugas Akhir tentang Menganalisis Pengaruh *Mutual coupling* terhadap kapasitas sistem MIMO yang menggunakan polarisasi sirkular, dapat disimpulkan bahwa :

- A. Nilai *mutual coupling* terbaik diperoleh pada skenario cross-polarisasi. Kapasitas kanal pada skenario co-polarisasi dan cross-polarisasi memiliki nilai *output* yang berbeda. Kapasitas kanal pada skenario cross-polarisasi lebih besar

dibanding co-polarisasi. Kapasitas terbesar pada skenario cross-polarisasi yaitu 116 bps/Hz. Kapasitas terbesar pada skenario co-polarisasi yaitu 100,8 bps/Hz. Masing-masing dibandingkan pada SNR yang sama yaitu 20 dB. Kapasitas kanal terbaik diperoleh saat cross-polarisasi.

- B. Kapasitas kanal pada kondisi dekorelasi 2 kali lebih besar dibandingkan dengan kondisi korelasi. Kapasitas terbesar dengan kondisi dekorelasi yaitu 116 bps/Hz, sementara kondisi korelasi yaitu 55,86 bps/Hz. Masing-masing dibandingkan pada SNR yang sama yaitu 20 dB. Kapasitas kanal terbaik diperoleh saat kondisi dekorelasi.
- C. Grafik *output* menunjukkan skenario co-polarisasi saling berhimpitan, dikarenakan memiliki nilai *mutual coupling* dan susunan antena yang mirip.
- D. Grafik *output* menunjukkan skenario cross-polarisasi tidak berhimpit, dikarenakan memiliki nilai *mutual coupling* yang beragam serta susunan antena juga beragam.

REFERENSI

- [1] A. Rizki, Pengaruh Penyusunan Polarisasi pada Sistem Antena MIMO Terhadap Kapasitas Kanal Narrowband, Bandung: Universitas Telkom, S1 Teknik Telekomunikasi, 2019.
- [2] E. L. Wijaya, Pengaturan Polarisasi Elemen Patch Sirkular pada Sistem Antena MIMO Susunan Bidang untuk Komunikasi 5G, Bandung: Universitas Telkom, S1 Teknik Telekomunikasi, 2019.
- [3] D. H. Junico, Analisis Performansi Kanal MIMO Menggunakan Teknik Diversitas Polarisasi Antena, Bandung: Universitas Telkom, S1 Teknik Telekomunikasi, 2022.
- [4] M. A. J. d. J. W. Wallace, "IEEE Trans. Antennas propag," *A review of antennas and*

- propagation for MIMO wireless communication*, Vols. vol. 52, no. 11, p. 2810–2824, 2004.
- [5] Cisco, 802.11ac: The Fifth Generation of Wi-Fi, California, United States: Cisco Systems, Inc, 2018.
- [6] 3GPP TS 36, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (3GPP TS 36.101 version 14.3.0 Release 14), Sophia Antipolis, France: European Telecommunications Standards Institute, 2017.
- [7] P. Lusina, F.Kohandani, S.M.Ali, "Antenna Parameter Effects on Spatial Channel Models," 2008.
- [8] "Pengembangan Antenna Array dengan Struktire MEGB," *JVoTE (Jurnal Pendidikan Vokasional Elektronika)*, p. hal.2, 2019.
- [9] A. A. Pramudita, Sholihin and D. D. Ariananda, "4th Intenational Conference on Science and Technology," *Array of Eight Circularly Polarized Microstrip Antenna for IEEE 802.11ac MIMO WLAN*, pp. p2-3, 2018.
- [10] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, United States of America: John Wiley , 2012.
- [11] E. T. Radjagukguk, *Antena Mikrostrip dengan Kemampuan Rekonfigurasi untuk Diversitas Frekuensi dan Polarisasi Reconfigurable Microstrip Antenna with Frequency and Polarization*, 2011.
- [12] C. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design 3rd Edition*, 2005.
- [13] Mac E. Van Valkenburg and Wendy M.Middleton, *Reference Data for Engineers:Radio,Electronics,Computer,and Communications*, 225 Wildwood Avenue: Butterworth-Heinemann, 2002.
- [14] I. Bimantoro, *Antena MIMO dengan Elemen Monopole Planar Segitiga 6 GHz untuk Handset 5G*, Bandung: Universitas Bandung, 2018.
- [15] T. S. Rappaport, *Wireless Communications : Principles and Practice*, New Jersey: Prentice Hall : Upper Saddle River, 2002.
- [16] A. H. d. A. Wahyudin, *Perbandingan Penggunaan Teknik Diversity pada Jaringan Gelombang Mikro di Lingkungan Danau*, Yogyakarta,Indonesia: Pustaka Ilmu, 2018.
- [17] W. J. Prasetyo, *Perbandingan Kinerja Sistem MIMO STBC Menggunakan Antena Dual Polarisasi dan Polarisasi Vertikal*, Bandung: Telkom University, 2009.
- [18] S. Mumtaz, *Perancangan dan Realisasi Antena Metamaterial 3,5 GHz untuk Teknologi 5G*, 2020.
- [19] A. Kurniadi, *Pengaruh Penggunaan Resonant Slot pada Sistem Antena MIMO dengan Polarisasi Circular Terhadap Penurunan Mutual Coupling*, Bandung: Universitas Telkom, S1 Teknik Telekomunikasi, 2022.
- [20] E. R. & M. Mujirudin2), "Sistem Mimo dan Aplikasi Penggunaannya," *Rekayasa Teknologi*, vol. 6(2), p. hal.1, 2013.
- [21] A. D. Manalu, *Perancangan Simulator Pembelajaran Blok Sistem Komunikasi Digital pada Kanal Fading Rayleigh untuk Image Berbasis Matlab*, Bandung: Universitas Telkom, D3 Teknologi Telekomunikasi, 2019.