

# Analisis Pengaruh Antenna MIMO 2x2 Menggunakan Polarisation Diversity Terhadap Kecepatan Akses 4G LTE pada Frekuensi 2.1 GHz

1<sup>st</sup> Auliya Rusyda Husna  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

aulyarusyida@student.telkomuniversit  
y.ac.id

2<sup>nd</sup> Levy Olivia Nur  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

levyolivia@telkomuniversity.ac.id

3<sup>rd</sup> Harfan Hian Ryanu  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

harfanhr@telkomuniversity.ac.id

**Abstrak** — Perkembangan teknologi komunikasi semakin pesat sehingga meningkatkan permintaan akan kecepatan akses internet. Untuk dapat memenuhi kebutuhan pengguna, teknologi seluler harus diperbaharui untuk menyediakan kecepatan internet yang lebih baik. Pada jaringan LTE kecepatan transfer data berada di 10 – 40 Mbps. Long Term Evolution (LTE) mempunyai kelebihan yaitu selain kecepatannya dalam transfer data juga dapat memberikan jangkauan area yang lebih luas. Untuk menyediakan kecepatan pengiriman data yang tinggi pada metode konvensional dapat dilakukan dengan menambahkan *bandwidth* atau memperbaharui tipe modulasi, tetapi di zaman sekarang ada metode baru untuk memberikan peningkatan laju data dan kapasitas saluran yaitu dengan antenna MIMO. Sistem *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) adalah system yang menggunakan multi antenna pada *transmitter* dan *receiver* untuk mengatasi kelemahan pada system komunikasi *wireless* seperti *small scale fading*, *multipath fading*, dan interferensi dari sinyal lain. Pada penyusunan tugas akhir ini akan dilakukan perancangan antenna MIMO 2x2 yang terdiri dari dua buah antenna pemancar dan dua buah antenna penerima, Dalam perancangan tugas akhir ini antenna MIMO yang dirancang menggunakan *mutual coupling* antar elemen antenna. Aspek *mutual coupling* ini dipertimbangkan agar daya yang dipancarkan oleh antenna satu tidak memengaruhi antenna yang lain. Antenna MIMO akan dirancang dengan menggunakan Teknik *Diversity*.

**Kata kunci**— MIMO, EBG, Teknik Diversity,

## I. PENDAHULUAN

Isi Perkembangan teknologi komunikasi semakin pesat sehingga meningkatkan permintaan akan kecepatan akses internet. Untuk dapat memenuhi kebutuhan pengguna, teknologi seluler harus diperbaharui untuk menyediakan kecepatan internet yang lebih baik. Pada jaringan LTE, kecepatan transfer data mencapai 10 – 40 Mbps. Long Term Evolution (LTE) mempunyai kelebihan yaitu selain dari kecepatannya dalam transfer data juga dapat memberikan jangkauan area yang lebih luas dan kapasitas layanan yang

lebih besar, memiliki arsitektur yang sederhana sehingga membuat biaya operasional yang rendah, dapat digunakan pada multiple antenna, fleksibel dalam penggunaan bandwidth operasi serta dapat terintegrasi dengan teknologi yang sudah ada. Pada sistem komunikasi moderen harus menyediakan kecepatan pengiriman data yang tinggi. Pada metode konvensional dapat dilakukan dengan menambah bandwidth atau memperbaharui tipe modulasi. Salah satu metode baru untuk memberikan peningkatan laju data dan kapasitas saluran yaitu antenna MIMO.

Multiple Input Multiple Output (MIMO) adalah sistem penyusunan lebih dari satu antenna pada sisi pemancar ataupun sisi penerima dan biasanya disebut dengan MIMO  $M \times N$ . Pada penyusunan tugas akhir ini, akan dilakukan perancangan antenna MIMO 2 x 2 yang terdiri dari dua buah antenna pemancar dan dua buah 4 antenna penerima. Dalam perancangan antenna MIMO, antenna satu dengan antenna lainnya tidak berkorelasi satu sama lain karena akan berdampak pada mutual coupling. Perancangan antenna MIMO dalam tugas akhir ini menggunakan mutual coupling antar elemen antenna. Aspek mutual coupling dipertimbangkan dalam perancangan antenna MIMO ini agar daya yang dipancarkan oleh antenna satu tidak memengaruhi antenna lain. Karena efek dari mutual coupling dapat mempengaruhi kinerja dari sistem MIMO, oleh karena itu diperlukan teknik untuk mengatur mutual coupling dengan cara mengatur jarak antar antenna. Antenna MIMO akan dirancang dengan menambahkan struktur Electromagnetic Band Gap (EBG) dan menggunakan teknik diversity yaitu Polarization Diversity. Electromagnetic Band Gap (EBG) adalah suatu inovasi dalam sistem komunikasi RF dan gelombang mikro yang mempunyai karakteristik celah pita yang unik pada rentang frekuensi tertentu. Penggunaan struktur EBG pada perancangan antenna MIMO 2x2 ini bertujuan untuk meningkatkan mutual coupling agar gelombang antenna yang satu tidak berpindah ke antenna yang lainnya dan agar tidak adanya daya transfer maksimum dari salah satu antenna. MIMO adalah teknologi baru yang menggunakan prinsip diversity dengan tujuan meningkatkan

kecepatan data pada area yang lebih luas tanpa memerlukan bandwidth atau daya transmisi yang besar [3]. Polarization Diversity yaitu sebuah teknik diversity menggunakan elemen antena dengan polarisasi yang berbeda atau saling orthogonal agar dapat meradiasikan dua sinyal sehingga didapatkan kanal yang tidak berkorelasi atau independen [2]. Dengan perancangan antena MIMO 2 x 2 ini nantinya diharapkan dapat dijadikan sebagai rekomendasi untuk meningkatkan efektivitas dan keunggulan layanan komunikasi data dan seluler. Dalam penelitian ini, kami menggunakan perangkat BladeRF sebagai mini Base Transceiver Station (BTS) dan integrasi dengan sistem Open LTE untuk mengkonfigurasi SIM Card agar terkoneksi dengan perangkat uji coba. Open LTE adalah jenis open source 4G dan 5G yang programnya tidak hanya untuk melakukan virtualisasi pada EPC tetapi juga untuk jaringan end-to-end seluler radio LTE [10 pts]

## II. KAJIAN TEORI

Menyajikan dan menjelaskan teori-teori yang berkaitan dengan variabel-variabel penelitian. Poin subjudul ditulis dalam abjad.

### A. MIMO

MIMO adalah Multiple-Input Multiple-Output, yang berarti bahwa sistem MIMO menggunakan lebih dari satu antena transmisi (Tx) untuk mengirim sinyal dengan frekuensi yang sama untuk lebih dari satu antena penerima (Rx). MIMO adalah bagian paling penting dari LTE untuk meningkatkan kecepatan transfer data dan kapasitas sistem secara keseluruhan. MIMO dapat berkembang dalam kondisi sinyal yang dipantulkan oleh lingkungan. Dibawah kondisi penyebaran, sinyal dari Tx yang berbeda akan menggunakan multipath untuk menuju user equipment (UE) pada waktu yang berbeda.

Pada sistem komunikasi nirkabel, sinyal transmisi akan mengalami kerusakan akibat adanya fading, sehingga akan menurunkan performansi sistem. Di sisi lain, tuntutan peningkatan laju data dan kualitas layanan sistem komunikasi nirkabel memicu lahirnya teknik baru untuk meningkatkan efisiensi spektrum dan perbaikan kualitas saluran. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan banyak antena di kedua sisi pengirim dan penerima, dan teknik ini dikenal sebagai MIMO. Ada dua hal yang sebenarnya diberikan oleh sistem MIMO yaitu diversitas gain dan multiplexing gain. Diversitas gain dapat dicapai dengan menerapkan teknik diversitas pada sistem komunikasi nirkabel. Prinsipnya, diversitas mengirimkan beberapa replika sinyal informasi pada kanal independent fading, sehingga di penerima minimal ada satu sinyal yang tidak mengalami fading terburuk. Teknik diversitas yang biasanya digunakan yaitu diversitas waktu, diversitas frekuensi, dan diversitas antena [1]

### B. LTE

Long Term Evolution merupakan suatu layanan dengan kemampuan tinggi, yang diperkenalkan oleh (3GPP) The Third Generation Partnership Project. Dimana LTE berfungsi sebagai suatu perangkat tambahan pada jaringan Universal Mobile Telecommunications System. Disamping itu keunggulan secara umum Long Term Evolution dapat memberikan kecepatan akses maksimal hingga 50 Mbps saat melakukan Uplink. Sedangkan saat melakukan Downlink

kecepatan akses maksimal yang diberikan hingga 100 Mbps.[2]

### C. 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 antena pengirim dan penerima. Diversity dibagi menjadi dua yaitu *space diversity* dan Polarization Diversity. [3]

## III. METODE

Memberikan gambaran rancangan penelitian yang meliputi prosedur atau langkah-langkah penelitian, waktu penelitian, sumber data, cara perolehan data dan menjelaskan metode yang akan digunakan dalam penelitian [10 pts].

### A. Studi Literatur

Sebelum mengerjakan alat yang dibuat penulis melakukan studi banding mengenai antena dan juga beberapa ilmu terkait dari jurnal dan buku yang terdapat di internet sebagai tambahan untuk mendapatkan data yang teoritis. Selain itu juga penulis melakukan penilitan dan Analisa terhadap judul penelitian yang telah ada sebelumnya.

### B. Konsultasi dengan Pembimbing

Selama penyusunan Tugas Akhir ini, Penyusun melakukan diskusi dengan dosen pembimbing baik secara daring maupun luring membahas penelitian dan penulisan laporan Tugas Akhir dengan baik dan benar.

### C. Simulasi

Pada simulasi ini menggunakan machine dengan OS Ubuntu dan antena MIMO 2x2 dengan polarisasi diversity yang sudah dirancang sebelumnya untuk mendapatkan hasil kinerja antena tersebut.

### D. Analisis

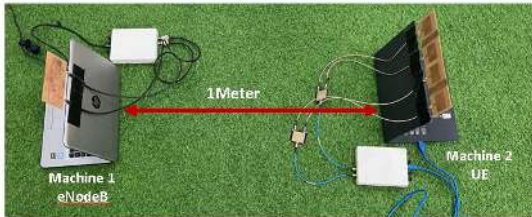
Analisis yang dilakukan yaitu menganalisa hasil dari kinerja antena yang sudah disimulasikan, analisis berupa hasil *bitrate*, *Packet Loss*, RSRP, dan SNR.

$$N = \frac{Loss_{actual} - Loss_{acceptable}}{G_{EDFA}} \quad (1)$$

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem akan dilakukan dengan cara menghubungkan antena yang sudah dirancang sebelumnya dengan USRP. Secara keseluruhan pengujian sistem ini membutuhkan 2 RF-fronted (USRP) dan 2 buah PC yang berbasis OS Linux (Ubuntu) yang dibangun platform LTE. UE akan terinstall pada mesin 1 dengan memasang USRP 1. Dan ENB dan EPC akan terinstall pada mesin 2 dengan memasang perangkat USRP 2. Masing-masing USRP akan dipasangkan antena MIMO.

Pada pengujian sistem ini, antara eNB dan UE akan diberi jarak sejauh 1 meter dan akan diuji di dalam ruangan tertutup. Pengujian akan dilakukan menggunakan dua jenis antena, yaitu antena MIMO 2x2 menggunakan EBG dan antena MIMO 2x2 menggunakan polarisasi *diversity*. Dan akan diuji pada tiga sistem, yaitu *Single-Input Single-Output (SISO)*, *Single-Input Multiple-Input (SIMO)*, *Multiple-Input Single-Input (MISO)*. Serta dilakukan perbandingan dan analisis kecepatan transfer data di sisi *downlink* dan *uplink* dari masing-masing antena. pada sisi penerima akan menerima sinyal yang dikirimkan dari eNB dan mencoba melakukan akses internet dengan melakukan *browsing*, *streaming* video melalui Youtube, dan panggilan video menggunakan Google Meet.



GAMBAR 3.1  
Skema Pengujian Sistem

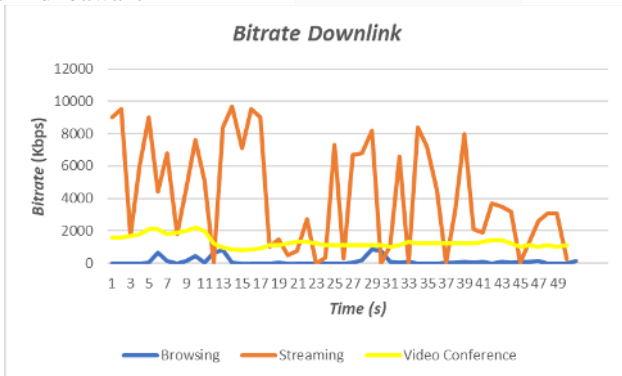
• Hasil Pengujian Integrasi Antena MIMO 2x2 Menggunakan EBG

A. Pengukuran Berbasis Layanan

1. SISO

a. *Bitrate*

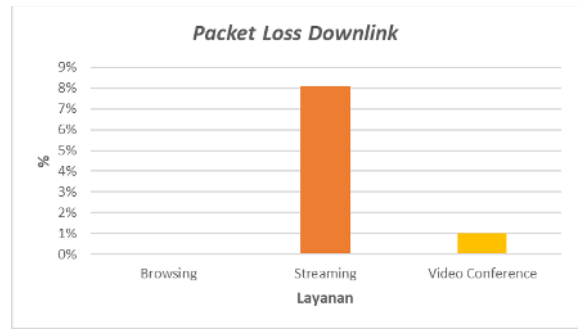
Untuk pengambilan data *bitrate* ini diambil dari sisi pengirim (eNB) pada saat sisi *user* melakukan *browsing*, *streaming* video, dan panggilan video, data diambil selama 50 detik dengan sistem SISO. *Bitrate* dapat dilihat dari sisi *downlink* dan *uplink*, dan didapatkan *bitrate* seperti pada grafik di bawah.



GAMBAR 3.2  
Grafik *Bitrate* SISO

*Bitrate* pada sisi *downlink* didapatkan nilai dengan *bitrate* terkecil pada saat *browsing* dengan rata – rata 109,87 kbps, dan *bitrate* terbesar 95000 kbps pada saat *streaming*. Nilai *bitrate* dipengaruhi karena permintaan layanan yang tinggi, semakin tinggi permintaan yang akan digunakan nilai *bitrate* akan semakin tinggi. Seperti pada percobaan, sisi *user* mengirimkan permintaan kualitas video yang tinggi sehingga membutuhkan *bitrate* yang tinggi untuk meningkatkan kualitas video yang jernih.

b. *Packet Loss*



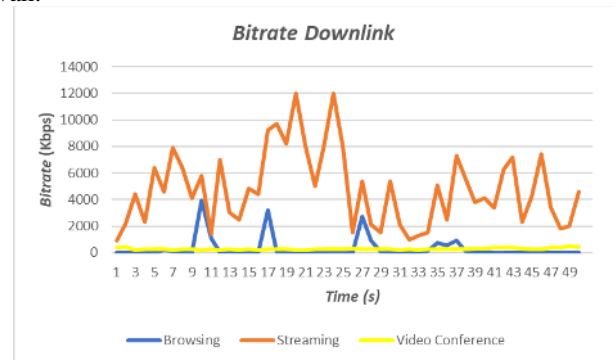
GAMBAR 3.3  
Grafik *Packet Loss* SISO

Pada sisi *downlink* diperoleh *Packet Loss* yang cukup tinggi pada saat melakukan *streaming* video, sama halnya pada saat *streaming* video memerlukan *bitrate* yang tinggi beberapa waktu tertentu. Pada saat *streaming* didapatkan nilai *Packet Loss* sebesar 8%.

2. SIMO

a. *Bitrate*

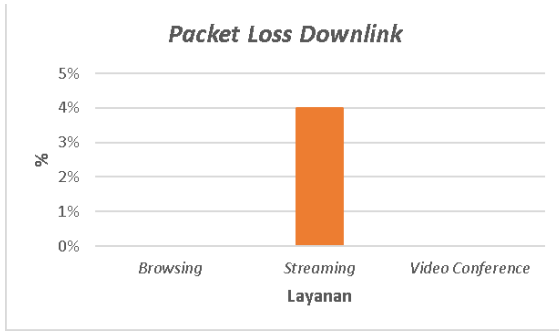
Untuk pengambilan data *bitrate* ini diambil dari sisi pengirim (eNB) pada saat sisi *user* melakukan *browsing*, *streaming* video, dan *video conference*, data diambil selama 50 detik dengan sistem SIMO. *Bitrate* dapat dilihat dari sisi *downlink* dan *uplink*, dan didapatkan *bitrate* seperti grafik di bawah.



GAMBAR 3.4  
Grafik *Bitrate* SIMO

*Bitrate* pada sisi *downlink* didapatkan nilai dengan *bitrate* terkecil pada saat *browsing* dengan rata – rata 304.17 kbps, tetapi pada saat melakukan *browsing* *bitrate* beberapa kali naik mencapai 4000 kbps hal itu dikarenakan *user* melakukan permintaan dengan mengakses situs sehingga membutuhkan *bitrate* yang sedikit lebih besar dibandingkan saat *user* tidak mengakses apapun.

b. Packet Loss

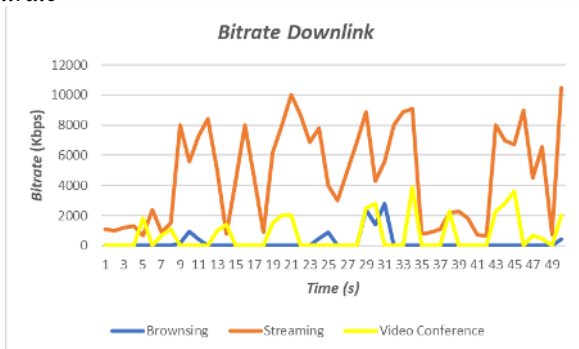


GAMBAR 3.5  
Grafik Packet Loss SIMO

Pada sisi *downlink* diperoleh *Packet Loss* yang cukup tinggi pada saat melakukan *streaming* video, sama halnya pada saat *streaming* video memerlukan *bitrate* yang tinggi sehingga menyebabkan nilai *Packet Loss* yang tinggi di beberapa waktu tertentu.

3. MISO

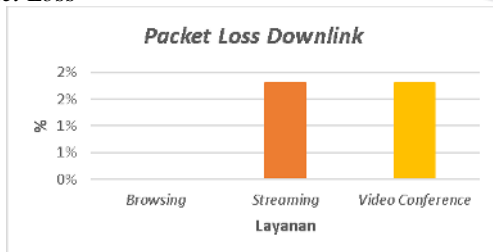
a. Bitrate



GAMBAR 3.6  
Grafik Bitrate MISO

*Bitrate* pada sisi *downlink* didapatkan *bitrate* terbesar pada saat melakukan *streaming* mencapai 10000 kbps, lalu rata – rata pada saat *video conference* *bitrate* yang digunakan sebesar 698.16 kbps. dan sama seperti teknik – teknik sebelumnya, *bitrate* terkecil didapatkan pada saat *user* melakukan *browsing*.

b. Packet Loss

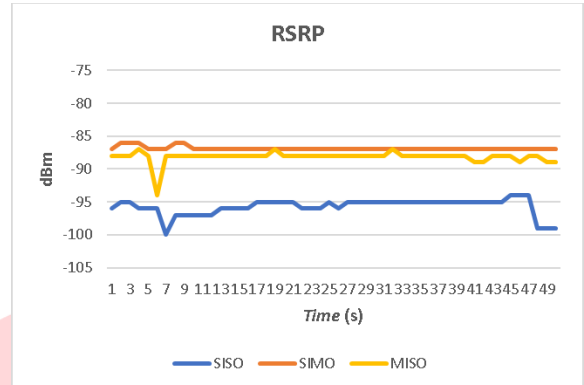


GAMBAR 3.7  
Grafik Packet Loss MISO

Peningkatan *Packet Loss* pada saat melakukan *video conference*, peningkatan nya mencapai 1.8%, sedangkan pada saat melakukan *streaming* juga terjadi peningkatan *Packet Loss* hingga 1.8%.

B. Pengukuran Berdasarkan Jumlah Antena.

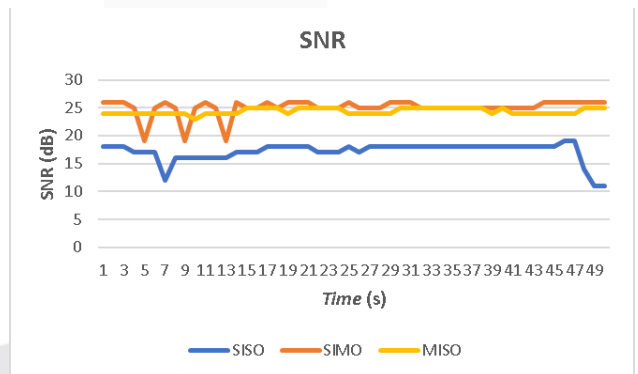
1. RSRP



GAMBAR 3.8  
Grafik Perbandingan RSRP

Nilai RSRP berada pada rentang -40 dBm sampai -120 dBm. Semakin besar nilai RSRP maka akan semakin bagus kekuatan sinyal yang diterima. Dapat dilihat pada Gambar 3.8 di atas, bahwa jumlah antena yang digunakan berpengaruh terhadap nilai RSRP. Bisa disimpulkan bahwa jumlah antena mempengaruhi kuat sinyal, kekuatan sinyal paling baik ada pada antena SIMO.

2. SNR



GAMBAR 3.9  
Grafik Perbandingan SNR

Ketika nilai *noise* semakin besar maka akan menyebabkan nilai SNR nya semakin kecil. Nilai SNR lebih dari 0 dB menunjukkan bahwa level sinyal lebih besar daripada level *noise* nya. Semakin tinggi nilai SNR maka akan semakin baik kualitas sinyal yang dimiliki. Penggunaan SISO sangat rentan terhadap kondisi *multipath*, karena sehingga sinyal diterima dalam keadaan dipantulkan, dll. Sehingga menyebabkan nilai SNR yang rendah. Pada SIMO dengan SNR terbesar, karena penerima akan memilih salah satu sinyal yang memiliki level SNR terbesar.

C. Perhitungan Kapasitas Kanal

Perhitungan kapasitas kanal secara teori menggunakan Teori Shannon dengan persamaan :

$$C = n \cdot B \log_2 (1 + SNR) \tag{5.1}$$



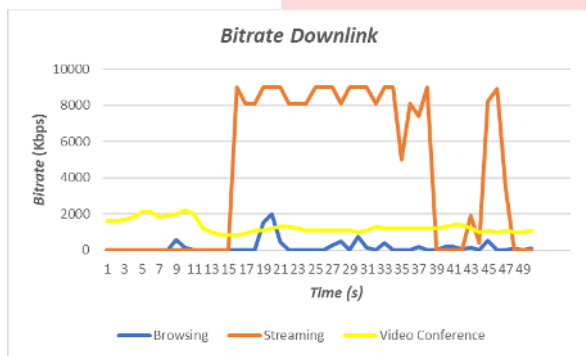
Dengan perhitungan menggunakan persamaan (5.1) di atas, didapatkan kapasitas kanal pada SISO sebesar 56.75 Mbps, SIMO sebesar 83.09 Mbps, dan pada MISO sebesar 79.78 Mbps. Sedangkan pada pengujian didapatkan kecepatan akses SISO sebesar 12.16 Mbps, SIMO sebesar 24.58 Mbps, dan MISO sebesar 20.41 Mbps. Berdasarkan data di atas membuktikan bahwa dengan menggunakan sistem multi antenna dengan jalur transmisi lebih dari satu dan penerima lebih dari satu, akan menyebabkan peningkatan kapasitas kanal. Semakin banyak jumlah antenna yang digunakan di sisi penerima dan sisi pemancar menyebabkan peningkatan terhadap nilai SNR, sehingga mempengaruhi nilai kapasitas kanal.

Hasil Pengujian Integrasi Antena MIMO 2x2 Menggunakan Polarisasi Diversity

A. Pengukuran Berbasis Layanan

1. SISO

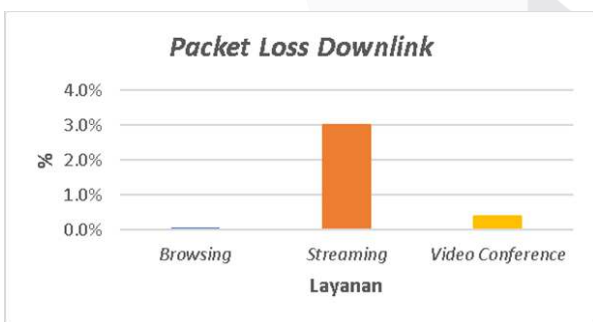
a. Bitrate



GAMBAR 3.10 Grafik Bitrate SISO

Grafik *bitrate* pada sisi *downlink* berada pada rentang 0 – 9000 kbps. *Bitrate* terendah didapatkan pada saat user melakukan *browsing*, dan *bitrate* tertinggi didapatkan pada saat user melakukan *streaming* video dengan *bitrate* mencapai 9000 kbps.

b. Packet Loss

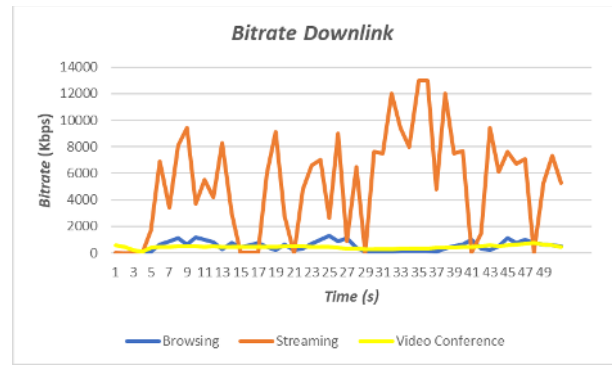


GAMBAR 3.11 Grafik Packet Loss SISO

Sisi *downlink* dengan menggunakan sistem SISO *Packet Loss* tertinggi yang didapatkan sebesar 3% pada saat melakukan *streaming*. Dengan teknik SISO pada antenna menggunakan polarisasi *diversity* nilai *Packet Loss* tersebut masih dalam batas standar dari ITU-T, yaitu di bawah 10 %.

2) SIMO

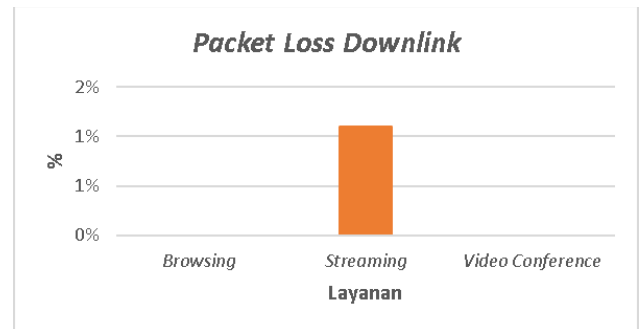
a. Bitrate



GAMBAR 3.12 Grafik Bitrate SIMO

*bitrate* pada sisi *downlink* didapatkan nilai dengan *bitrate* terendah pada saat *video conference* dengan *bitrate* yang stabil dengan rata – rata 447.94 kbps, sedangkan *bitrate* pada saat melakukan *browsing* di beberapa waktu mengalami kenaikan hingga 1300 kbps tetapi di waktu yang lainnya *bitrate* yang didapatkan masih kecil dari 0 – 1000 kbps.

b. Packet Loss

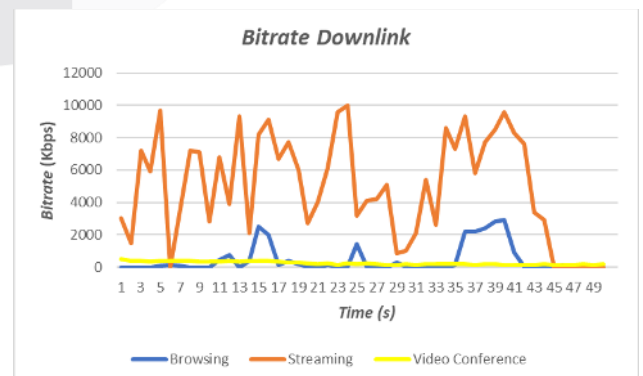


GAMBAR 3.13 Grafik Packet Loss SIMO

*Packet Loss* pada sisi *downlink* dengan teknik SIMO mendapatkan nilai *packet Loss* sebesar 0% pada saat melakukan *browsing*, sedangkan pada saat melakukan *streaming packet Loss* naik hingga mencapai 1.1%.

3) MISO

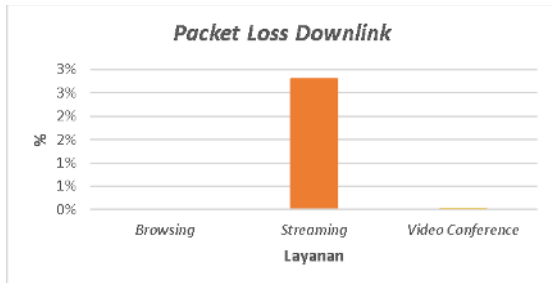
a. Bitrate



GAMBAR 3.14 Grafik Bitrate MISO

Pada saat percobaan melakukan *streaming*, *bitrate* mencapai 10000 kbps, pada saat melakukan *streaming* nilai *bitrate* mengalami naik turun karena pada awal *streaming* kualitas video masih rendah, sedangkan pada saat melakukan *video conference* sisi *downlink* tidak mengirimkan begitu besar karena hanya di sisi *uplink* yang terjadi komunikasi, sehingga *bitrate* dari sisi *downlink* tidak begitu besar dibandingkan dari sisi *uplink*.

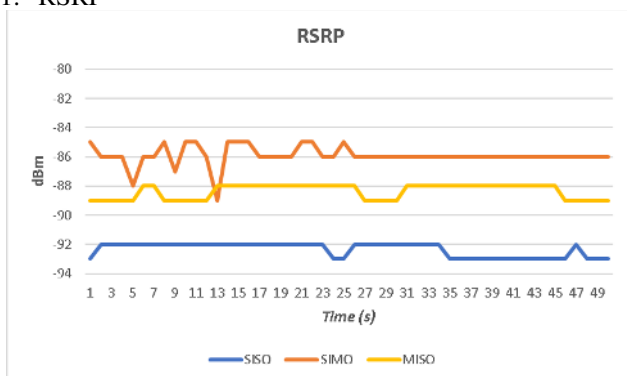
b. Packet Loss



GAMBAR 3.15  
Grafik Packet Loss MISO

Pada gambar grafik *downlink* di atas, *Packet Loss* tertinggi terjadi saat melakukan *streaming* sebesar 2.8%. Nilai *Packet Loss* yang tinggi dapat menyebabkan *buffering*.

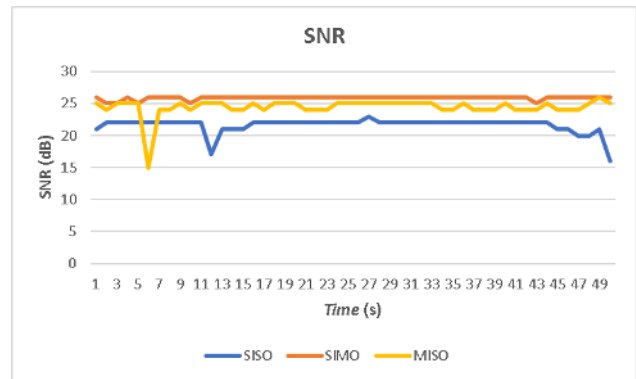
B. Pengukuran Berdasarkan Jumlah Antena  
1. RSRP



GAMBAR 3.16  
Grafik Perbandingan RSRP

Pada antenna SISO nilai rata-rata RSRP -92 dBm dengan kategori sedang. Sistem SIMO dengan nilai rata-rata -85 dBm dengan kategori bagus. Dan pada MISO rata-rata RSRP sebesar -88 dBm dengan kualitas kekuatan sinyal bagus. Dari data yang didapat, bisa disimpulkan bahwa jumlah antenna mempengaruhi RSRP, kekuatan sinyal paling baik ada pada antenna MISO dan SIMO. Dan kualitas paling buruk ada pada SISO.

2. SNR



GAMBAR 3.17  
Grafik Perbandingan SNR

Nilai rata-rata SNR pada SISO sebesar 21 dB, SIMO sebesar 26 dB, dan MISO sebesar 24 dB. Di antara ketiga sistem tersebut, SIMO dan MISO memiliki nilai SNR yang lebih besar sehingga dapat memberikan layanan jaringan yang lebih baik daripada SISO. Dikarenakan SIMO dan MISO yang menggunakan dua kanal sehingga dapat meningkatkan SNR dua kali lipat lebih besar dibanding saat menggunakan SISO.

C. Pengujian Kapasitas Kanal

Perhitungan kapasitas kanal secara teori menggunakan Teori Shannon dengan persamaan :

$$C = n \cdot B \log_2 (1 + SNR) \tag{5.1}$$

Dengan perhitungan menggunakan persamaan (5.1) di atas, didapatkan kapasitas kanal pada SISO sebesar 69.8 Mbps, SIMO sebesar 86.40 Mbps, dan pada MISO sebesar 79.78 Mbps. Sedangkan pada pengujian didapatkan kecepatan akses SISO sebesar 19.07 Mbps, SIMO sebesar 27.98 Mbps, dan MISO sebesar 28.76 Mbps. Dari data di atas membuktikan bahwa dengan menggunakan sistem multi antenna dengan jalur transmisi lebih dari satu, sehingga dapat meningkatkan nilai SNR yang berpengaruh terhadap peningkatan kapasitas kanal.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan di atas, pada pengujian Antena MIMO menggunakan EBG terhadap jumlah antenna yang digunakan. Dapat dilihat pada nilai RSRP, SNR, dan kapasitas kanal paling baik didapatkan pada saat menggunakan sistem SIMO dan MISO. Pada SIMO didapatkan RSRP sebesar -86 dBm, SNR sebesar 25 dB, dan kapasitas kanal maksimum sebesar 83.09 Mbps. Pada MISO didapatkan RSRP sebesar -88 dBm, SNR sebesar 24 dB, dan kapasitas kanal maksimum sebesar 79.78 Mbps. Saat pengujian berbasis layanan *bitrate* SIMO dan MISO pada sisi *downlink* dan sisi *uplink* lebih bagus dibandingkan saat penggunaan sistem SISO. Dengan rata-rata *bitrate* tertinggi 4818.2 kbps pada sisi *downlink* dan 1324.4 kbps pada sisi *uplink*. *Packet loss* pada SISO dan MISO mengalami penurunan dibandingkan saat pengujian dengan SISO. Dengan *packet loss* tertinggi pada sisi *downlink* 4% dan pada sisi *uplink* 1%.

Pada pengujian antenna MIMO 2x2 menggunakan polarisasi *diversity*, nilai RSRP, SNR, dan kapasitas kanal paling bagus didapatkan pada saat menggunakan sistem SIMO dan MISO. Dapat dilihat pada nilai RSRP, SNR, dan

kapasitas kanal paling baik didapatkan pada saat menggunakan sistem SIMO dan MISO. Pada SIMO didapatkan RSRP sebesar -85 dBm, SNR sebesar 26 dB, dan kapasitas kanal maksimum sebesar 86.40 Mbps. Pada MISO didapatkan RSRP sebesar -88 dBm, SNR sebesar 24 dB, dan kapasitas kanal maksimum sebesar 79.78 Mbps. Saat pengujian berbasis layanan *bitrate* SIMO dan MISO pada sisi *downlink* dan sisi *uplink* juga lebih bagus dibandingkan saat penggunaan sistem SISO. Dengan rata-rata *bitrate* tertinggi 5223.77 kbps pada sisi *downlink* dan 1491.66 kbps pada sisi *uplink*. *Packet loss* pada SISO dan MISO mengalami penurunan dibandingkan saat pengujian dengan SISO. Dengan packet loss terbesar tertinggi pada sisi *downlink* 2.8% dan pada sisi *uplink* 1%.

Sehingga berdasarkan hasil pengujian, performansi antenna MIMO 2x2 menggunakan polarisasi *diversity* menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan penggunaan MIMO 2x2 menggunakan EBG. Hal tersebut sesuai dengan nilai mutual coupling yang didapatkan pada saat perancangan antenna cukup rendah.

## REFERENSI

- [1] Pratama, Wisnu., Usman, Uke., dkk., 2013. Analisis Perencanaan Jaringan Long Term Evolution (LTE) Menggunakan Metode Frekuensi Reuse 1, Fractional Frequency Reuse dan Soft Frequency Reuse Studi Kasus Ko
- [2] R. Yanuari, P.K. Sudiarta, N. Gunantara. 2015. "Analisa Kualitas Sinyal Jaringan GSM Pada Menara Rooftop dengan Membandingkan Aplikasi Metode Drive Test antara TEMS Investigation 8.0.3 dengan GNettrack Pro". E-Journal SPEKTRUM Vol. 2,
- [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.