

Analisis Pengaruh Antena MIMO 2x2 dengan *Electromagnetic Band Gap* (EBG) Terhadap Performansi Jaringan 4G menggunakan *Open LTE*

1st Natasya Nurul Putri
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

natasyanurulputri@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Levy Olivia Nur
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

levyolivia@telkomuniversity.ac.id

3rd Harfan Hian Ryanu
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

harfanhr@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Perkembangan teknologi komunikasi mengalami peningkatan yang pesat sehingga permintaan akan kecepatan akses internet pun semakin hari semakin meningkat. Pada metode konvensional peningkatan kecepatan transfer data dapat dilakukan dengan menambah bandwidth. Sedangkan pada metode modern ini dengan menambah jumlah saluran transmisi, salah satunya yaitu MIMO untuk memberikan peningkatan kapasitas saluran dan laju data. Pada penelitian ini antena MIMO 2x2 akan dirancang dengan menambahkan struktur *Electromagnetic Band Gap* (EBG) untuk mengurangi efek dari *mutual coupling*.

Pada penelitian ini, akan dilakukan perbandingan penggunaan antena MIMO 2x2 pada sistem SISO, SIMO, dan MISO. Ada beberapa parameter yang akan diuji untuk melihat kecepatan akses data dari ketiga sistem tersebut, yaitu RSRP, SNR, dan kapasitas kanal. Pada pengujian antena MIMO 2x2 menggunakan EBG dengan sistem SIMO didapatkan nilai RSRP sebesar -86 dBm, SNR sebesar 25 dB, *bitrate* maksimum 12000 kbps, dan kapasitas kanal 83.09 Mbps

Kata kunci— MIMO, EBG, kecepatan transfer, RSRP, SNR

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi mengalami peningkatan yang pesat sehingga permintaan akan kecepatan akses internet pun semakin hari semakin meningkat. Penggunaan teknologi komunikasi pun sudah menjadi kebutuhan bagi setiap individu. Untuk dapat memenuhi kebutuhan pengguna, teknologi seluler terus mengembangkan internet dengan kecepatan yang lebih baik dari sebelumnya. Perkembangan teknologi seluler sudah dimulai dari 2G, 3G, 3.5 G, 4G, dan 5G. 4G merupakan sebutan untuk generasi keempat dari teknologi jaringan seluler. 4G LTE merupakan projek dari *Third Generation Partnership Project* (3GPP) untuk memperbaiki standar teknologi jaringan seluler generasi ke-3.

Antena dapat digunakan pada aplikasi transmisi dan penerima daya rendah. Pada sebuah antena, dibutuhkan sistem *smart* antena atau multi antena yang dapat mempengaruhi sistem kerja, kapasitas, kecepatan transfer data, dan dapat mengurangi bahkan menghapuskan

gangguan akibat *multipath fading*. *Multipath fading* merupakan salah satu kendala yang dihadapi dalam sistem komunikasi nirkabel. Dimana sinyal dikirimkan melalui kanal nirkabel yang akan merambat dengan jalur propagasi yang berbeda-beda.

Dalam perkembangannya multi antena mengalami perubahan yang sangat signifikan, mulai dari sistem *Single-Input Single-Output* (SISO), *Single-Input Multiple-Output* (SIMO), *Multiple-Input Single-Output* (MISO), *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO). Pada metode konvensional peningkatan kecepatan transfer data dapat dilakukan dengan menambah bandwidth. Sedangkan pada metode multi antena terbaru ini dengan menambah jumlah saluran transmisi, salah satunya yaitu MIMO untuk memberikan peningkatan kapasitas saluran dan laju data.

MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) merupakan sistem yang menggunakan lebih dari satu antena pengirim (Tx) untuk mengirim sinyal dengan frekuensi yang sama dan lebih dari satu antena penerima (Rx). Pada penelitian ini akan digunakan antena MIMO 2Tx x 2Rx, dengan antena transmisi sebanyak 2 buah dan antena penerima sebanyak 2 buah. Penggunaan MIMO pada LTE menjadi bagian penting untuk meningkatkan kecepatan transfer data. Karena kondisi sinyal yang dipantulkan dari sinyal Tx yang berbeda akan menggunakan *multipath* untuk menuju *User Equipment* (UE). [1]

Antena MIMO 2x2 ini dirancang dengan menambahkan struktur *Electromagnetic Band Gap* (EBG) untuk mengurangi efek dari *mutual coupling*. Aspek *mutual coupling* sangat dipertimbangkan dalam penerapan antena MIMO agar daya yang dipancarkan oleh antena yang satu tidak mempengaruhi antena lain. Karena efek dari *mutual coupling* dapat mempengaruhi kinerja dari sistem MIMO itu sendiri. [2]

Dengan perancangan antena MIMO 2 x 2 ini nantinya diharapkan dapat dijadikan sebagai rekomendasi untuk meningkatkan efektivitas dan keunggulan layanan komunikasi data seluler.

Pada penelitian ini, akan dilakukan perbandingan penggunaan antena MIMO 2x2 pada sistem SISO, SIMO, dan MISO. Ada beberapa parameter yang akan diuji untuk melihat kecepatan akses data dari ketiga sistem tersebut.

II. KAJIAN TEORI

A. Long Term Evolution (LTE)

4G merupakan sebutan untuk generasi keempat dari teknologi jaringan seluler. 4G LTE merupakan projek dari *Third Generation Partnership Project (3GPP)* untuk memperbaiki standar teknologi jaringan seluler generasi ke-3. 4G LTE mampu memberikan kecepatan transfer data pada sisi *downlink* sebesar 100 Mbps dan pada sisi *uplink* sebesar 50 Mbps.[3] Selain kemampuan kecepatan transfer data, LTE juga memberikan jangkauan area yang lebih luas, serta menggunakan arsitektur sederhana yang menyebabkan biaya operasional yang rendah, dapat mendukung *multiple* antena, dan dapat terintegrasi dengan teknologi yang sudah ada.

Kecepatan jaringan 4G memiliki tingkat *buffering* yang cukup rendah. Terdapat dua standar jaringan 4G yang dikomersialkan, yaitu standar WiMax dari Korea Selatan dan standar LTE yang berasal dari Swedia. LTE juga dirancang untuk mampu ditempatkan di berbagai *band* frekuensi.

B. SISO (Single-Input Single-Output)

SISO merupakan teknologi antena yang paling sederhana, dengan menggunakan satu antena di sisi pengirim dan sisi penerima. Sistem SISO sangat rentan terhadap masalah yang disebabkan oleh efek *multipath*, sehingga menyebabkan penurunan kecepatan data.

C. SIMO (Single-Input Multiple-Output)

SIMO merupakan teknologi multi antena yang menggunakan satu antena pada sisi pengirim dan lebih dari satu antena pada sisi penerima.

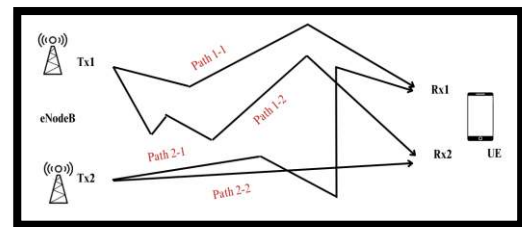
D. MISO (Multiple-Input Single-Output)

MISO merupakan generasi ketiga dari sistem smart antena, setelah SISO dan SIMO. Sistem MISO adalah teknologi multi antena yang menggunakan lebih dari satu antena pada sisi pengirim (*transmitter*) dan satu antena pada sisi penerima (*receiver*).

E. MIMO (Multiple-Input Multiple-Output)

MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) merupakan teknologi multi antena yang menggunakan lebih dari satu antena di sisi pengirim (Tx) dan lebih dari satu antena di sisi penerima (Rx). Teknologi MIMO hadir dengan menggunakan prinsip *diversity* dengan tujuan untuk meningkatkan kecepatan akses atau data *rate* tanpa membutuhkan bandwidth atau daya transmisi yang lebih besar. [4]

Pada lingkungan *multipath* dengan *fading* yang independen antara tiap pasangan antena pemancar dan penerima, MIMO akan memperoleh peningkatan kapasitas dengan signifikan, sehingga performansi MIMO menjadi lebih baik dibandingkan dengan sistem antena konvensional SISO (*Single-Input Single Output*) karena hanya mampu mengirim dan menerima informasi menggunakan antena tunggal.



GAMBAR 1.
Sistem Mimo 2x2

F. Parameter Performansi LTE 4G

Optimasi jaringan dilakukan untuk meningkatkan performansi jaringan seluler. Berikut merupakan beberapa parameter yang didapatkan pada saat pengujian menggunakan teknologi 4G LTE

1. Reference Signal Receive Power (RSRP)

RSRP merupakan suatu parameter kekuatan sinyal dari jaringan 4G yang diterima oleh *user*. Digunakan untuk mengetahui luas jangkauan dari antena ke eNodeB. [5]

TABEL 1.
Parameter Nilai Rsrp

Nilai RSRP	Keterangan
<-60	Luar Biasa
-60 s/d -70	Sangat Baik
-70 s/d -90	Baik
-90 s/d -90	Normal
-90 s/d -110	Buruk
> -120	Sangat Buruk

2. Signal to Noise Ratio (SNR)

SNR merupakan perbandingan antara sinyal yang diinginkan dan *noise* yang tidak diinginkan. [6] Nilai SNR menyatakan kualitas dari sinyal informasi yang diterima pada sistem transmisi. Apabila *noise* yang dihasilkan besar, maka SNR nya akan kecil. Dan semakin besar nilai SNR maka kualitas sinyal yang akan semakin bagus.

TABEL 2.
Parameter Nilai Snr

Nilai SNR	Keterangan
>20	Luar Biasa
15 s/d 10	Sangat Baik
10 s/d 5	Baik
5 s/d 0	Normal
0 s/d -5	Buruk
<-10	Sangat Buruk

3. Kapasitas Kanal (C)

Kapasitas kanal adalah banyaknya informasi yang bisa dilewatkan dalam sebuah kanal transmisi atau rata-rata maksimum informasi yang dikirim tanpa ada kesalahan yang dinyatakan dalam satuan bit per detik. Kapasitas kanal menjadi salah satu parameter untuk mengukur kinerja dari kanal transmisi. Kanal adalah media yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal dari *transmitter* ke *receiver*. Semakin besar nilai kapasitas kanal, maka akan semakin banyak data yang dapat dilewatkan. Besar kecilnya nilai kapasitas kanal dipengaruhi oleh bandwidth, SNR, dan jumlah antena.

Kapasitas kanal dapat dihitung menggunakan persamaan Teori Shannon :

$$C = n \cdot B \log_2 (1 + SNR) \quad (2.1)$$

Dengan :

C : kapasitas kanal (bit/detik)
 n : jumlah antenna
 B : bandwidth (Hz)
 SNR : *signal to noise ratio* (numerik)

4. Bitrate

Bitrate adalah banyaknya bit yang diproses setiap detik. Semakin besar nilai *bitrate* maka kualitas file akan semakin cepat atau semakin tinggi. [7]

5. Packet loss

Packet loss merupakan kondisi dimana paket data yang dikirim melalui jaringan tidak sampai ke tujuan sepenuhnya. Kehilangan paket dinyatakan sebagai persentase paket yang hilang dari jumlah paket yang dikirim.

$$\text{Packet Loss} = \frac{(\text{data dikirim} - \text{data diterima}) \times 100\%}{\text{Data yang dikirim}} \quad (2.2)$$

G. Open LTE

Open LTE merupakan implementasi *open source* dari spesifikasi 3GPP LTE. Pada versi saat ini terdapat *eNodeB* dengan *Evolved Packet Core* sederhana yang terintegrasi, dengan beberapa alat untuk memindai dan merekam sinyal LTE berdasarkan GNU Radio. *Open LTE* yang digunakan pada penelitian ini, yaitu srsRAN 4G.

Open LTE ini digunakan sebagai penyedia jaringan 4G secara virtual agar antenna MIMO dapat terhubung ke jaringan.

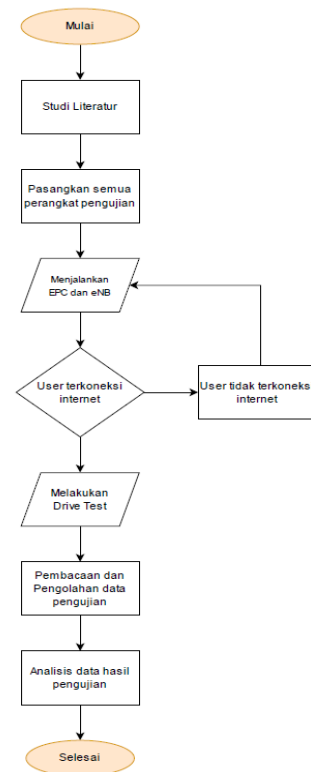
III. METODE

Sistem penggunaan antenna MIMO 2x2 menggunakan *Electromagnetic Band Gap* ini dilakukan untuk menganalisis kecepatan akses data pada jaringan 4G. Dalam pengujian ini jaringan 4G dibangun menggunakan *Open LTE* agar dapat terhubung dengan antenna yang dirancang. Dibutuhkan perangkat USRP sebagai pengganti BTS. Frekuensi antenna yang digunakan yaitu 2.1 GHz.

Dalam pengujian tugas akhir ini jarak antara *eNodeB* (eNB) dengan *User Equipment* (UE) sejauh 1 meter, dan diuji pada kondisi ruangan tertutup. Proses pengujian akan dilakukan dengan 3 sistem multi antenna, yaitu *Single-Input Single-Output* (SISO), *Single-Input Multiple-Output* (SIMO), dan *Multiple-Input Single-Output* (MISO). Dari ketiga Sistem tersebut akan dilihat performansi dari masing-masing antenna.

Pengambilan data yang digunakan yaitu data primer yang didapatkan dari hasil pengamatan kinerja sistem yang dibuat menggunakan perangkat lunak ubuntu. Pengambilan data dilakukan selama 50 detik pada masing-masing sistem. Beberapa parameter yang akan diukur, yaitu RSRP, SNR, *bitrate*, dan *packet loss*.

A. Diagram Alir Pengujian



GAMBAR 2
Diagram Alir Pengujian

Berdasarkan dengan alur analisis penelitian pada Gambar 2 penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur terkait kecepatan transfer data pada pengimplementasian antenna MIMO. Lalu menentukan parameter yang akan diuji pada penelitian ini. Semua perangkat pengujian akan dipasangkan terlebih dahulu. Perangkat yang digunakan pada pengujian ini yaitu perangkat USRP, laptop yang sudah terinstall *Open LTE*, kabel *jumper pigtail*, dan antenna MIMO 2x2. Karena jaringan 4G yang digunakan dibangun dengan sistem *Open LTE*. Maka perlu pembangunan *platform Open LTE* berupa perancangan *Evolved Packet Core* (EPC), *eNodeB* (eNB), dan *User Equipment* (UE).

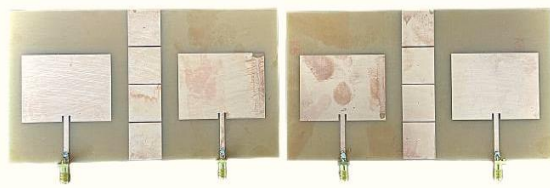
Setelah penginstalan paket *Open LTE*, maka akan dilakukan integrasi sistem antara antenna dengan perangkat USRP. Dimana perangkat USRP yang berperan sebagai *mini BTS* dan *user* akan dihubungkan dengan laptop yang terinstall srsRAN 4G, lalu antenna yang telah dirancang sebelumnya akan dihubungkan ke perangkat USRP tersebut sebagai *transmitter* dan *receiver*. Setelah semua perangkat pengujian terpasang, maka EPC dan eNB akan dijalankan. Dan *user* mendapatkan koneksi internet. Setelah *user* terhubung dengan internet, maka akan dilakukan *drive test* pada saat *user* melakukan *browsing*, *streaming video* melalui Youtube, dan panggilan video *conference* melalui Google Meet.

Selanjutnya, dilakukan pengujian kecepatan transfer data pada *user* dengan antenna MIMO 2x2 menggunakan EBG dengan sistem multi antenna *Single-Input Single-Output* (SISO), *Single-Input Multiple Output* (SIMO), *Multiple-Input Single Input* (MISO). Setelah semua pengujian dilakukan, maka data yang didapatkan akan

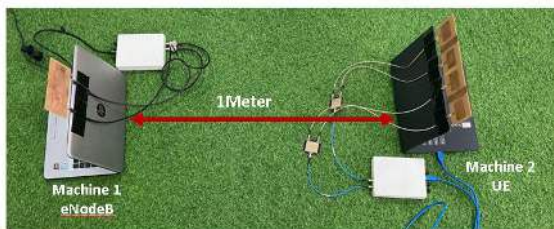
diolah terlebih dahulu. Dan dilakukan analisis performansi setiap sistem.

B. Alat Pengujian

Alat yang digunakan pada pengujian ini yaitu antenna mikrostrip MIMO 2x2 menggunakan struktur EBG.



GAMBAR 3
Antena Mimo 2x2 Dengan Ebg



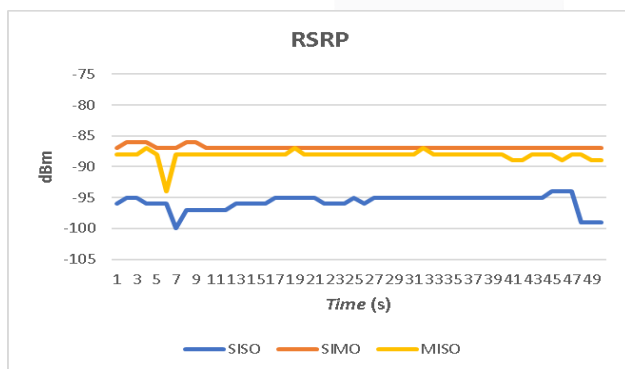
GAMBAR 4
Skema Alat Pengujian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan yang dilakukan meliputi pengujian dan analisis kecepatan transfer data. Data hasil pengamatan menunjukkan nilai-nilai parameter RSRP, SNR, *bitrate*, dan *packet loss*.

A. Pengujian berdasarkan jumlah antenna

1. RSRP



GAMBAR 5
Grafik Pengujian Rsrp

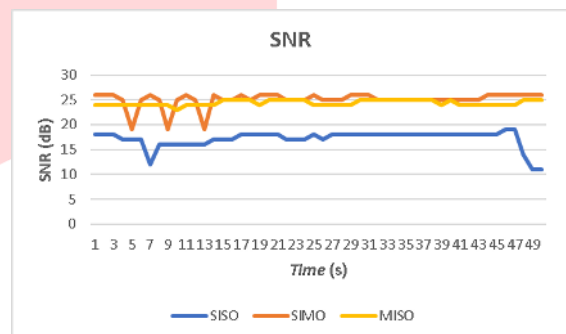
Nilai RSRP berada pada rentang -40 dBm sampai -120 dBm. Semakin besar nilai RSRP maka akan semakin bagus kekuatan sinyal yang diterima. Dan semakin kecil nilai RSRP maka semakin buruk kekuatan sinyal yang diterima oleh *user*.

Dapat dilihat pada Gambar 5 di atas, bahwa jumlah antenna yang digunakan berpengaruh terhadap nilai RSRP. Pada antenna SISO nilai rata-rata RSRP -95 dBm dengan kategori sedang. Sistem SIMO dengan nilai rata-rata -86 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 kuat sinyal, kekuatan sinyal paling baik ada pada sistem SIMO dan MISO. Dan kualitas paling buruk ada pada SISO. Ketika menggunakan sistem SISO, hanya menggunakan antenna tunggal baik di sisi pengirim ataupun penerima sehingga hanya menggunakan satu jalur transmisi sehingga tidak dapat mengatasi efek *multipath fading*. Penggunaan sistem antenna SIMO dan MISO memiliki nilai RSRP yang bagus, karena penggunaan 2 antenna pada sisi *transmitter* dan 2 antenna pada sisi *receiver*, akan meningkatkan level daya terima sebanyak 2 kali lipat dan sinyal pantulan juga dapat menguatkan sinyal utama sehingga tidak saling menggagalkan.

2. SNR



GAMBAR 6
Grafik Pengujian Snr

Data yang diambil pada pengukuran ini sebanyak 50 data dengan nilai SNR yang bervariasi pada setiap titiknya. 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. Jika SNR terlalu rendah. Dari Gambar 6 di atas dapat dilihat nilai rata-rata SNR pada SISO sebesar 17 dB, SIMO sebesar 25 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. Penggunaan SISO sangat rentan terhadap kondisi *multipath*, karena sehingga sinyal diterima dalam keadaan dipantulkan, dll. Sehingga menyebabkan nilai SNR yang rendah. Sementara pada penggunaan SISO dan MISO memanfaatkan dua jalur, sehingga walaupun akan ada lebih banyak *multipath*, tetapi tetap memiliki dua sinyal yang dominan dengan jarak pengukuran yang dekat.

3. Kapasitas Kanal

TABEL 3
Perbandingan Kapasitas Kanal

Sistem Multi Antena	Kecepatan Akses	
	Perhitungan	Pengujian
SISO	56.75 Mbps	12.16 Mbps
SIMO	83.09 Mbps	24.58 Mbps

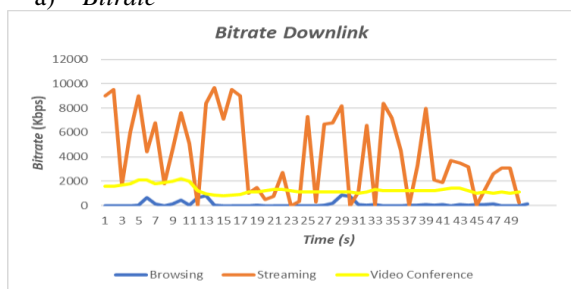
MISO	79.78 Mbps	20.41 Mbps
------	------------	------------

Bandwidth kanal yang digunakan yaitu bandwidth pada perangkat USRP sebesar 10 MHz. Dengan perhitungan menggunakan persamaan (5.1), 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. Perbedaan antara nilai kapasitas kanal dengan hasil pengujian throughput berbeda, dikarenakan keterbatasan pada perangkat atau kanal USRP nya. 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.

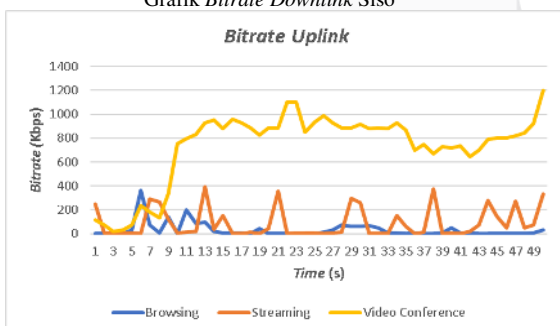
B. Pengujian berbasis layanan yang diakses

Pada pengujian kedua ini, parameter yang akan dianalisis yaitu *bitrate* dan *packet loss* pada sisi *downlink* pada saat *user* mengakses internet dengan melakukan *browsing*, *streaming* video melalui Youtube, dan panggilan video menggunakan Google Meet.

a) Bitrate



GAMBAR 7
Grafik Bitrate Downlink Siso

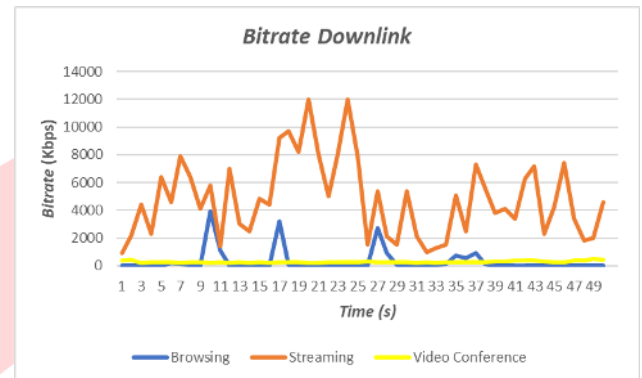


GAMBAR 8
Grafik Bitrate Uplink Siso

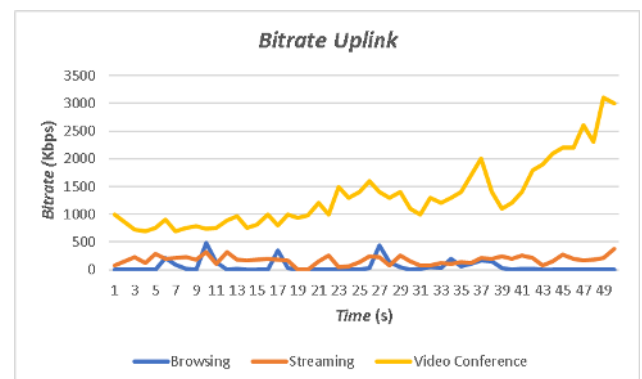
Gambar 7 dan Gambar 8 merupakan grafik pengujian *bitrate* menggunakan sistem SISO. Nilai *bitrate* terkecil pada saat *browsing* dengan rata – rata 109,87 kbps, dan *bitrate* terbesar 9500 kbps pada saat *streaming*. Nilai *bitrate* dipengaruhi karena permintaan layanan yang tinggi, semakin tinggi permintaan 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. Berbeda dengan

pada saat sisi *user* melakukan *browsing user* hanya melakukan akses internet dan pada saat *user* melakukan *video conference*, *user* hanya melakukan panggilan *audio* sehingga permintaan tidak terlalu tinggi sehingga *bitrate* yang dihasilkan tidak terlalu besar.

Pada sisi *uplink bitrate* pada saat melakukan *video conference* cukup besar dibandingkan akses layanan lain, dikarenakan dilakukan komunikasi dua arah dengan mengirimkan data berupa *video* dan *audio* secara *real time* ke komputer lain.

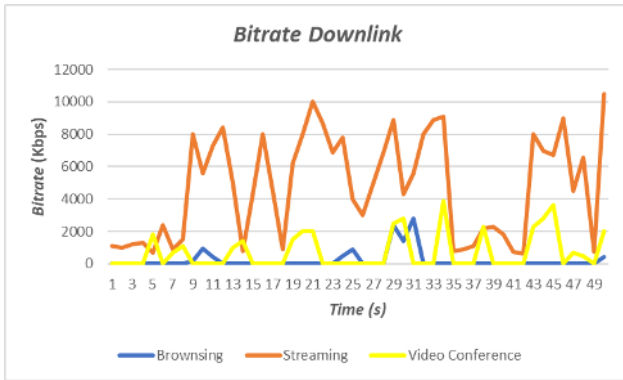


GAMBAR 9
Grafik Bitrate Downlink Simo

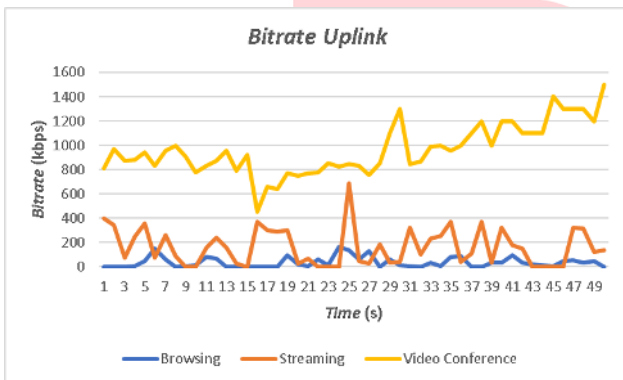


GAMBAR 10
Grafik Bitrate Uplink Simo

Pada Gambar 9 dan Gambar 10 di atas merupakan grafik pengujian *bitrate* menggunakan sistem SIMO. Seperti yang terlihat pada grafik, *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. Beda hal pada saat percobaan melakukan *streaming*, *bitrate* yang didapatkan mencapai 8400 kbps, pada saat melakukan *streaming* nilai *bitrate* mengalami naik turun karena pada awal *streaming* kualitas video masih rendah, namun pada saat detik ke-18 kualitas video ditingkatkan sehingga *bitrate* meningkat. 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*. Dan pada arah *uplink bitrate* mengalami peningkatan karena dilakukan panggilan yang melibatkan *user* lain.



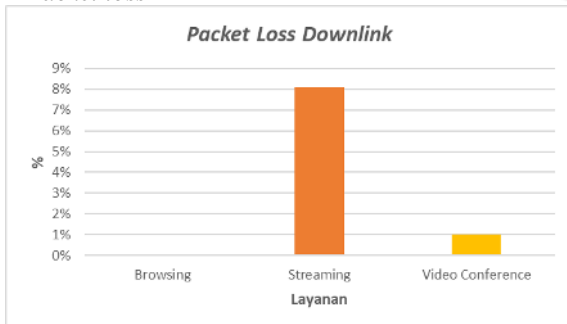
GAMBAR 11
Grafik Bitrate Downlink Miso



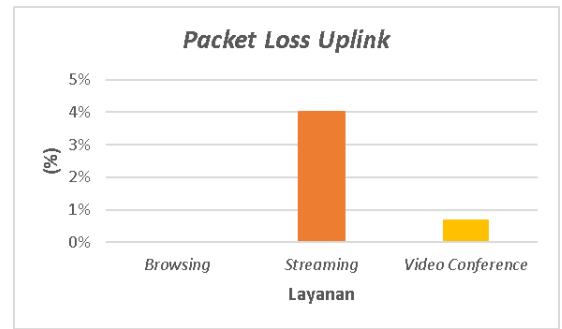
GAMBAR 12
Grafik Bitrate Uplink Miso

Gambar 11 dan Gambar 12 merupakan grafik *bitrate* pada pengujian MISO. *Bitrate* pada sisi *downlink* didapatkan *bitrate* terbesar pada saat melakukan *video conference* mencapai 11000 kbps, hal ini disebabkan karena pada saat melakukan *video conference* sisi *user* melakukan video dan audio secara real time sehingga membutuhkan *bitrate* yang tinggi di waktu tertentu tergantung kualitas video dan audio real time yang digunakan. Tidak berbeda jauh pada saat *streaming*, pada saat *streaming* juga menggunakan *bitrate* yang cukup besar hingga 10000 kbps, dan sama seperti teknik – teknik sebelumnya, *bitrate* terkecil didapatkan pada saat *user* melakukan *browsing*. Pada sisi *uplink* mengalami peningkatan *bitrate* karena melakukan komunikasi dua arah.

b) *Packet loss*

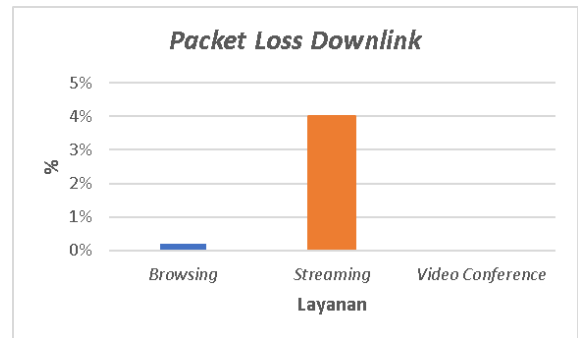


GAMBAR 13
Grafik Packet Loss Downlink Siso

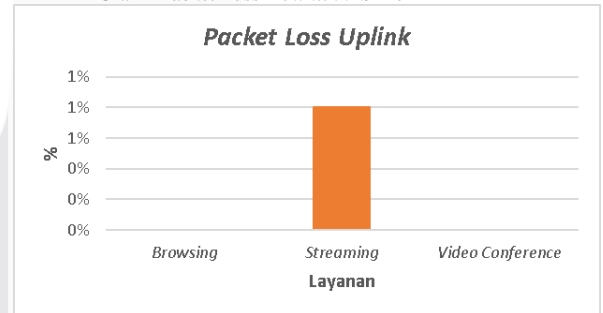


GAMBAR 14
Grafik Packet Loss Uplink Siso

Gambar 13 dan Gambar 14 merupakan grafik pengujian *packet loss* SISO. Pada sisi *downlink* diperoleh *packet loss* yang cukup tinggi pada saat melakukan *streaming* video. Dn pada sisi *uplink* *packet loss* pada saat *streaming* mencapai 4% dan pada *video conference* sebesar 0.8%. *packet loss* yang tinggi pada saat *streaming* video bisa menyebabkan *buffering*.

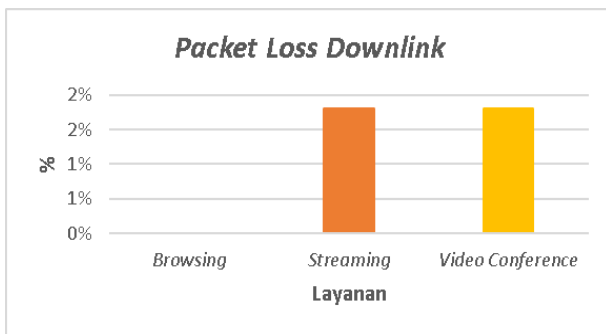


GAMBAR 15
Grafik Packet Loss Downlink Simo

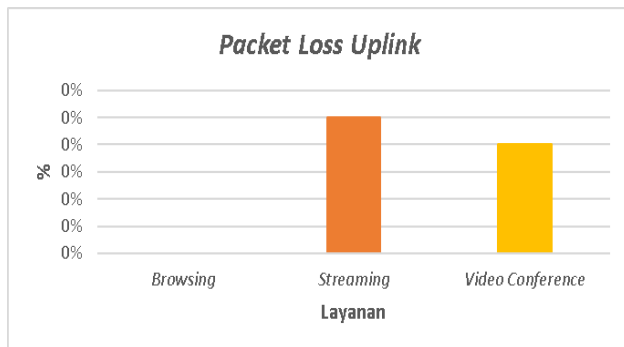


GAMBAR 16
Grafik Packet Loss Uplink Simo

Gambar 15 dan Gambar 16 merupakan grafik pengujian SIMO Pada saat *streaming* didapatkan nilai *packet loss* tertinggi sebesar 4%, ini disebabkan pada saat *user* meningkatkan kualitas video lalu terjadi *overload* pada *traffic* atau *congestion* pada jaringan. Berbeda pada saat sisi *user* hanya melakukan *browsing* dan *video conference* paket yang hilang hanya sedikit dengan rata – rata 0% karena tidak mengirimkan banyak paket.



GAMBAR 17
Grafik Packet Loss Downlink Miso



GAMBAR 18
Grafik Packet Loss Uplink Miso

Gambar 17 dan Gambar 18 merupakan grafik *packet loss* MISO. Dari grafik dapat dilihat bahwa 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%. dan di sisi *uplink packet loss* cukup rendah dibanding pada sisi *downlink* yaitu sebesar 0.08%.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan di atas, pada pengujian Antena MIMO menggunakan EBG terhadap jumlah antena 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%.

Dapat disimpulkan bahwa penggunaan multi antena memiliki performansi yang lebih bagus dibandingkan penggunaan antena konvensional atau SISO. Penggunaan multi antena SIMO maupun MISO memiliki performa yang sama baik dalam menurunkan *packet loss* dan meningkatkan RSRP, SNR, *bitrate*, dan kapasitas kanal dibandingkan dengan penggunaan antena konvensional SISO. Karena pada SIMO menggunakan dua antena pada

penerima dan MISO menggunakan dua antena pada pengirim. Sehingga dalam proses pengiriman sinyal menggunakan dua jalur atau kanal independen, sehingga dapat menerima sinyal yang lebih banyak dan berpotensi mendapatkan sinyal yang lebih bagus. Walaupun menerima banyak sinyal *multipath*, tetapi akan tetap ada dua sinyal yang dominan. Sedangkan pada SISO hanya menggunakan satu antena di sisi penerima dan pengirim. Sehingga pada kondisi *multipath*, ketika sinyal dipancarkan ke segala arah maka ada sinyal yang saling menggagalkan pada saat menuju penerima yang menyebabkan sinyal yang diterima oleh *user* sedikit melemah. Dan penggunaan sistem multi antena juga dapat meningkatkan *bitrate* dan menurunkan *packet loss*.

REFERENSI

- [1] A. Khairunnisa Yasmine, N. Pramaita, and N. M. A. E. . Wirastuti, "Desain Simulasi Performansi Kode Orthogonal Gold Pada Kanal Multipath Fading," *J. SPEKTRUM*, vol. 9, no. 4, p. 10, 2022, doi: 10.24843/spektrum.2022.v09.i04.p2.
- [2] T. Jiao, T. Jiang, and Y. Li, "A Low Mutual Coupling MIMO Antena Using Periodic Multi-Layered Electromagnetic Band Gap Structures," *ACES J.*, vol. 33, no. 3, pp. 1–2, 2017.
- [3] Y. I. Shiddiqah, M. S. Muntini, R. Prasetyanto, and Y. H. Pramono, "Analisa Pengaruh Antena MIMO 2Tx2Rx Terhadap Kecepatan Akses 4G LTE," vol. 5, no. 2, pp. 2337–3520, 2016, [Online]. Available: http://ejurnal.its.ac.id/index.php/sains_seni/article/viewFile/17090/2846
- [4] S. Ahmad *et al.*, "A Compact CPW-Fed Ultra-Wideband Multi-Input-Multi-Output (MIMO) Antena for Wireless Communication Networks," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 25278–25289, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3155762.
- [5] I. D. G. Paramartha Warsika, N. M. A. E. Dewi Wirastuti, and P. K. Sudiarta, "Analisa Throughput Jaringan 4G Lte Dan Hasil Drive Test Pada Cluster Renon," *J. SPEKTRUM*, vol. 6, no. 1, p. 74, 2019, doi: 10.24843/spektrum.2019.v06.i01.p11.
- [6] A. D. Haq, I. Santoso, and Z. A. A. Macrina, "Estimasi Signal To Noise Ratio (SNR) Menggunakan Metode Korelasi," *Transient*, vol. 1, no. 4, pp. 1–8, 2012.
- [7] A. Bentaleb, B. Taani, A. C. Begen, C. Timmerer, and R. Zimmermann, "A survey on *bitrate* adaptation schemes for streaming media over HTTP," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 21, no. 1, pp. 562–585, 2019, doi: 10.1109/COMST.2018.2862938.