

ANALISIS PERFORMANSI OFDM DI FREE SPACE OPTIC MENGUNAKAN MODULASI QAM PADA REDAMAN HUJAN

PERFORMANCE ANALYSIS OF OFDM ON FREE SPACE OPTIC USING QAM MODULATION IN RAIN ATTENUATION

Ratu Balqis Febrika¹, Hurianti Vidyaningtyas², M. Irfan Maulana³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

ratubalqis@student.telkomuniversity.ac.id, huriantividya@telkomuniversity.ac.id,

muhammadirfanm@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Free Space Optic (FSO) merupakan suatu sistem komunikasi nirkabel dengan kecepatan yang tinggi yang memanfaatkan frekuensi cahaya sebagai media propagasinya melalui atmosfer (ruang bebas). Dengan menggunakan sistem FSO dapat mempermudah dalam penyampaian sinyal informasi. Namun, pada ruang bebas terdapat beberapa gangguan sehingga bisa merusak kualitas informasi yang dikirim. Salah satunya adalah cuaca hujan. Hujan terbagi menjadi beberapa jenis hujan tergantung oleh intensitas. Salah satu cara untuk meningkatkan performansi sinyal informasi yaitu dengan menambahkan penguat seperti *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)*.

OFDM merupakan salah satu teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi *subcarrier* yang saling tegak lurus (*orthogonal*). OFDM membagi aliran data *high rate* menjadi aliran data rate yang lebih rendah yang kemudian dikirimkan secara bersama-sama menggunakan *subcarrier*. (Modulasi *subcarrier* yang digunakan yaitu *4-Quadrature Amplitude Modulation (4-QAM)* yang berfungsi untuk menggabungkan beberapa sinyal informasi dengan *subcarrier* dan membuat sinyal gabungan $m(t)$ untuk memodulasi intensitas sumber optik).

Tujuan dari perancangan tugas akhir ini melakukan analisa hasil simulasi nilai variabel kinerja BER menggunakan salah satu teknik *multiplexing Free Space Optic* yaitu OFDM dan jenis modulasi *4QAM* pada redaman hujan ringan, sedang dan lebat. Panjang gelombang yang akan digunakan yaitu 1310 nm, dan 1550 nm dengan variasi jarak sejauh 0,5 – 10 kilometer. Tujuan yang didapat berdasarkan perancangan tugas akhir ini adalah nilai BER sebesar 10^{-6} . Pada tugas akhir ini didapatkan nilai BER yang optimal sebesar 10^{-6} pada jarak < 2 km menggunakan gelombang 1550 nm dengan daya LASER sebesar 10 Watt dan FFT 256 pada kondisi hujan ringan, sedang dan lebat.

Kata kunci : FSO, OFDM, QAM, BER

Abstract

Free Space Optic (FSO) is a wireless communication system with high speed that utilizes the frequency of light as a propagation medium through the atmosphere (free space). Using the FSO system can facilitate the delivery of information signal. However, in free space that are some disturbances that can damage the quality of the information sent. One of them is rainy weather. Rain is divided into several types of rain depending on the intensity. One way to improve the performance of information signals is by adding amplifiers such as *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)*.

OFDM is a transmission technique that uses several frequency subcarriers which are perpendicular to each other (*orthogonal*). OFDM divides high rate data streams into lower data rate streams which are then sent together using subcarriers. Subcarrier modulation that used is *4-Quadrature Amplitude Modulation (4-QAM)* which function to combine several information carrier signals called subcarriers and create a combined signal $m(t)$ to modulate the intensity of optical sources.

The purpose of this final project design is to analyze the simulation result of Bit Error Rate (BER) performance variable values using one of the FSO multiplexing technique OFDM and 4QAM as modulation in light rain attenuation, moderate and heavy. Wavelength to be used is 1310nm and 1550nm with variances of distance is 0,5 – 10 kilometres. The expected goal of this

final project design is the BER value 10^{-6} . In this final project, the optimal BER value is 10^{-6} at the distance of less than 2 km using a wavelength 1550 nm, with optical LASER of 10 Watt and 256 FFT in light, average and heavy rain conditions.

Keywords : FSO, OFDM, QAM, BER

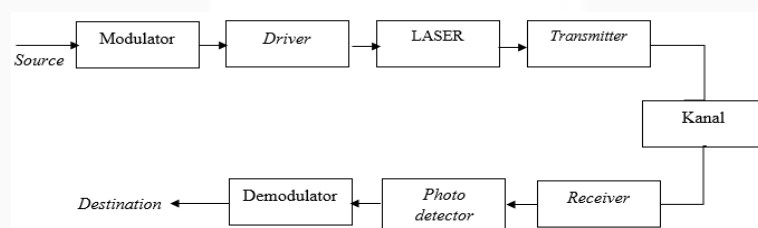
1. Pendahuluan

Free Space Optics (FSO) merupakan suatu sistem komunikasi nirkabel dengan kecepatan yang tinggi. FSO memanfaatkan frekuensi cahaya sebagai media propagasinya melalui atmosfer (ruang bebas). Dengan menggunakan sistem FSO dapat mempermudah dalam penyampaian sinyal info. Beberapa keunggulan yang dimiliki oleh sistem FSO yaitu memiliki *bandwidth* yang lebar dan dapat memenuhi kebutuhan data rate yang tinggi sehingga tidak memerlukan perizinan penggunaan frekuensi, biaya instalasi yang relatif lebih murah dibandingkan dengan kabel serat optik serta lebih praktis karena sinyal pemancar FSO dapat diletakkan di rooftop sehingga tidak perlu menggali jalanan dan fondasi gedung. FSO juga dapat digunakan sebagai alternatif sistem komunikasi radio dengan *Line of Sight (LoS)* [1]. Namun, kekurangan pada sistem FSO adalah pada pengiriman sinyal dapat mengalami kerusakan atau ketidaksempurnaan pengiriman data informasi yang disebabkan oleh gangguan. Gangguan yang dimaksud yaitu hambatan atau penghamburan yang disebabkan oleh lingkungan. Salah satunya yang paling berpengaruh pada pengiriman sinyal di ruang bebas adalah kondisi cuaca. Satu tetes hujan memiliki intensitas yang cukup mengganggu proses pengiriman sinyal. Hal ini disebabkan tetes hujan memotong sinar LASER yang berfungsi untuk menyampaikan sinyal ke penerima sehingga terdapat kerusakan sinyal informasi. Pada penelitian kali ini dipaparkan hasil simulasi nilai variabel kinerja BER menggunakan salah satu teknik *multiplexing* yaitu ACO-OFDM dan modulasi *4-Quadrature Amplitude Modulation (4-QAM)* pada variasi redaman hujan ringan, hujan sedang dan hujan lebat.

2. Dasar Teori /Material dan Metodologi/perancangan

2.1 Free Space Optic (FSO)

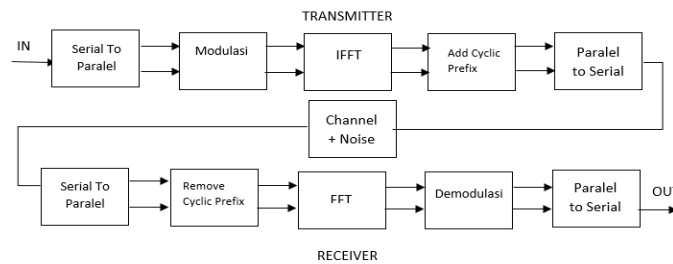
Sistem komunikasi *Free Space Optic (FSO)* atau yang biasa disebut juga *wireless optic*, merupakan sistem komunikasi optik yang menggunakan atmosfer sebagai media propagasinya. FSO menggunakan sorotan cahaya untuk mengirim *full-duplex* Gigabit Ethernet *throughput* data, suara dan komunikasi video secara simultan melalui udara [2]. FSO bekerja dalam kondisi *Line of Sight (LoS)* dan jarak komunikasi optimum yang relatif pendek untuk kebutuhan terrestrial. Prinsip kerja FSO secara sederhana merupakan gabungan dari sistem komunikasi serat optik dan *wireless* [3]. Sistem FSO dapat dioperasikan pada data rate 1-100 Gbps bergantung pada panjang gelombang dan teknik modulasi yang digunakan [4].



Gambar 1. Sistem dasar FSO

2.2 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) merupakan salah satu teknik *multiplexing* yang menggunakan beberapa buah frekuensi *subcarrier* yang saling tegak lurus (*orthogonal*) [5]. OFDM membagi aliran data *high rate* menjadi aliran data *rate* yang lebih rendah lalu dikirim secara bersama-sama menggunakan *subcarrier*.



Gambar 2. Blok diagram OFDM

- Serial to Paralel berfungsi untuk mengubah aliran data yang berbentuk serial menjadi paralel.
- Modulasi berfungsi sebagai mapper sub-carrier untuk menumpangkan sinyal pembawa. Modulasi yang biasanya digunakan yaitu seperti PSK dan QAM.
- *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) berfungsi untuk menambahkan simbol-simbol dan menentukan banyaknya frekuensi.
- *Add Cyclic Prefix* (CP) berfungsi untuk menambahkan guard interval dan mencegah *Inter Carrier Interference* (ICI) dan *Inter-Symbol Interference* (ISI).
- Paralel to Serial berfungsi untuk mengubah kembali sinyal-sinyal menjadi serial untuk dapat diteruskan ke kanal.

Keuntungan dari OFDM adalah jumlah *disperse* waktu yang disebabkan oleh *multipath delay spread* menurun secara signifikan. OFDM dapat meminimalisir terjadinya *Inter-Symbol Interference* (ISI) dan *Inter-Carrier Interference* (ICI). Pengaruh dari *noise* dan interferensi yang dialami oleh sinyal informasi dapat dikurangi oleh *multicarrier* yang dimana lebih baik dibandingkan dengan *single carrier*.

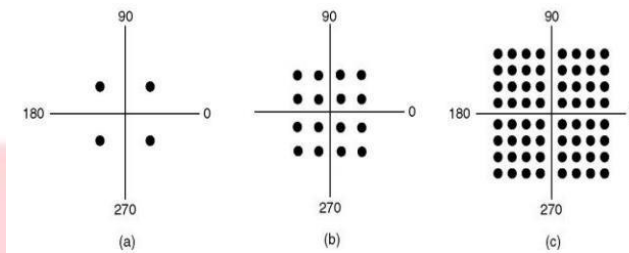
2.3 ACO-OFDM

Pada OFDM secara konvensional, sinyal yang dikirim berupa bipolar dan kompleks. Akan tetapi, sinyal bipolar tidak dapat ditransmisikan *didalam Intensity Modulated/Direct Detection* (IM/DD) komunikasi optik nirkabel dikarenakan intensitas cahaya yang dikirim tidak dapat bersifat negatif. Melainkan sinyal yang ditransmisikan harus bersifat positif dan unipolar. Itu sebabnya digunakan *Asymmetrically Clipped Optical-OFDM*. Selain dari itu, ACO-OFDM lebih cocok digunakan untuk modulasi dengan konstelasi (*M order*) yang rendah, seperti 8QAM, 16QAM, 64QAM. Sedangkan untuk modulasi dengan konstelasi yang besar seperti 1024QAM disarankan menggunakan DCO-OFDM.

Pada ACO-OFDM sinyal yang ditransmisikan dibuat positif dengan cara memotong sinyal OFDM *bipolar* yang asli dari 0 kebawah sehingga yang ditransmisikan hanya bagian positifnya saja [6]. Akan tetapi ACO-OFDM memiliki sedikit kelemahan yaitu dibandingkan dengan DCO-OFDM, ACO-OFDM menghindari penambahan *DC-biased* dan menghasilkan sinyal *unipolar* positif dengan hanya memanfaatkan *odd subcarrier*. Karena semua *subcarrier*, *even subcarrier* dan *odd subcarrier* terbuang sia-sia pada saat prosesnya, ACO-OFDM memberikan efisiensi spektral yang buruk pada *bandwidth* jika dibandingkan dengan DCO-OFDM [7].

2.4 M-QAM

Quadrature Amplitude Modulation (QAM) merupakan salah satu bentuk modulasi digital yang mentransmisikan dua sinyal analog atau dua aliran bit digital dengan mengubah amplitudo dari gelombang pembawa menggunakan skema modulasi digital ASK atau *Analog Modulation* (AM). Dua gelombang pembawa dari frekuensi yang sama berada diluar fase satu sama lain 90° kondisi ini yang disebut *Quadrature* (2^M).



Gambar 3. Diagram konstelasi (a) 4-QAM (b) 16-QAM (c) 64-QAM

Seringkali satu sinyal disebut sinyal In-phase (I) dan yang lainnya disebut Quadrature (Q). Persamaan dari sinyal QAM adalah sebagai berikut [8]:

$$s(t) = I(t)\cos\omega ct + Q(t) - \sin\omega ct \tag{1}$$

dimana:

$$I(t) = A \cos\theta$$

$$Q(t) = A \sin\theta$$

Keuntungan menggunakan modulasi QAM adalah mampu mengirim bit informasi per simbol dengan jumlah yang banyak. Semakin tinggi M order yang digunakan dapat meningkatkan laju data rate. Akan tetapi, semakin banyak simbol bit yang dikirim akan mengakibatkan banyak sinyal yang hilang dikarenakan kurang ulet dan rentan terhadap noise dan interferensi.

2.5 Redaman Hujan

Redaman hujan merupakan jenis Non-selective scattering (geometrical losses) [9]. Non-selective scattering merefraksikan semua radiasi secara merata diseluruh bagian spektrum yang tampak oleh inframerah. Non-selective scattering disebabkan oleh tetesan air di atmosfer, terjadi ketika diameter partikel di atmosfer jauh lebih besar dari panjang gelombang radiasi. Besarnya tetesan air hujan yang dihasilkan kira-kira sebesar 150-2000 μm yang secara signifikan lebih besar dibandingkan ukuran panjang gelombang FSO [10].

Berdasarkan data intensitas hujan menurut Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG), terdapat beberapa klasifikasi intensitas hujan dibedakan sebagai berikut [11]:

Tabel 1. Jenis hujan dan intensitas hujan

No	Jenis hujan	Intensitas hujan (mm/h)
1.	Hujan ringan	1-5
2.	Hujan sedang	5-10
3.	Hujan lebat	10-20

Partikel hujan yang terefraksi memiliki ukuran yang lebih besar dibandingkan panjang gelombang itu sendiri sehingga dikategorikan sebagai non-selective scattering (geometrical losses) karena tidak ada ketergantungan pada koefisien atenuasi panjang gelombang laser. Secara teoritis, koefisien redaman hujan dinyatakan menggunakan Stroke Law [12].

$$\beta_{rain\ scat} = \pi a^2 N a Q_{scat} \frac{a}{\lambda} \tag{2}$$

Pada persamaan (2) βrain dinyatakan sebagai besarnya redaman hujan (km⁻¹), α merupakan radius tetesan hujan (0.001 – 0.1cm), Nα dinyatakan sebagai distribusi jatuhnya air hujan (cm⁻³), dan Qscat adalah koefisien hamburan dan λ merupakan panjang gelombang yang ditransmisikan. Untuk mencari nilai, Nα didapatkan menggunakan persamaan sebagai berikut [12]:

$$N a = \frac{Z a}{\frac{4}{3} (\pi a^3) V a} \tag{3}$$

Pada persamaan (3) Za dinyatakan sebagai intensitas curah hujan (cm/s) dan Va merupakan limit speed precipitation. Untuk mendapatkan nilai Va dapat menggunakan persamaan berikut [12]:

$$Va = \frac{2a \rho g}{9\eta} \quad (4)$$

Pada persamaan (4) dapat dinyatakan ρ sebagai kerapatan air hujan (g/cm^3), g merupakan konstanta gravitasi (cm/s^2) dan η adalah viskositas udara $1,8 \times 10^{-4}$ (g/cm.s).

2.6 Daya Terima

Daya terima merupakan besarnya daya yang dipancarkan atau yang diterima oleh transmitter atau receiver. Pada persamaan Beer's Law menggunakan variasi intensitas hujan yang berfungsi sebagai redaman sehingga memiliki persamaan sebagai berikut [12]:

$$Pr = Pt * e^{-\beta_{rain}L} \quad (5)$$

pada persamaan (5) Pr merupakan daya yang diterima (Watt), diketahui Pt merupakan daya yang dipancarkan (Watt), β_{rain} merupakan nilai besaran hujan yang didapat dari persamaan (2), dan L merupakan jarak dari transmitter ke receiver (km).

2.7 Photodetector

Photodetector merupakan alat untuk mengukur intensitas cahaya yang digunakan untuk mengubah besaran cahaya menjadi besaran listrik. Prinsip kerja dari alat ini adalah mengubah energi foton menjadi energi elektron. Dalam komunikasi optik terdapat dua jenis *photodetector* utama, yaitu PIN dan APD. Dari dua jenis photodetector tersebut dibagi lagi dalam 3 jenis material bahan, yaitu *Silicon* (Si), *Germanium* (Ge) dan *InGaAs*.

Tabel 2. Parameter dari bahan photodetector

<i>Materials</i>	<i>Wavelength range (nm)</i>	<i>Responsivity (A/W)</i>	<i>Dark current (nA)</i>	<i>Avalanche Gain (dB)</i>
<i>Silicone</i>	400-1100	0.4-0.6	0.1-10	20-400
<i>Germanium</i>	800-1600	0.4-0.5	50-500	50-200
<i>InGaAs</i>	1100-1700	0.7-1	0.5-50	10-50

2.8 Signal to Noise Ratio

Signal to Noise Ratio merupakan suatu perbandingan ukuran untuk menentukan kualitas dari sebuah sinyal ditransmisi yang terganggu oleh derau (*noise*). Semakin besar nilai SNR maka dapat dipastikan kualitas sinyal yang diterima semakin baik. Untuk mencari SNR dengan menggunakan *photodetector* APD dapat menggunakan persamaan berikut:

$$SNR = \frac{Ip^2}{2q Bw (Ip + Id)M^x + 4b T Bw Fn M^2/R_L} \quad (6)$$

Pada persamaan (6) penguatan internal (M) serta faktor excess noise (F) berpengaruh terhadap nilai SNR. M merupakan faktor multiplikasi pada photodetector APD. Untuk mencari nilai faktor multiplikasi dapat digunakan persamaan berikut:

$$M^{x+2} = \frac{4bt/R_L}{xq(Ip + Id)} \quad (7)$$

Pada persamaan (7) I_M merupakan rata-rata arus keluaran multiplikasi total dan I_p merupakan arus foto tanpa multiplikasi primer. Dimana untuk mencari nilai I_p menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_p = R_{APD} \cdot P_0 \quad (8)$$

2.9 Bit Error Rate

Bit Error Rate (BER) jumlah kesalahan bit dalam suatu bit transmisi. BER dapat didefinisikan sebagai persentase bit yang memiliki kesalahan relatif terhadap jumlah total bit yang diterima dalam suatu transmisi. Standar nilai BER pada sistem komunikasi optik adalah 10^{-6} . Pada konstelasi rectangular, kanal Gaussian, dan penerima matched filter, probabilitas error bit untuk M-ary QAM dapat dinyatakan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [13]:

$$BER = \frac{2(1 - 1)}{\log_2 M} \left[\sqrt{\frac{3 \log_2 M}{2 * (M - 1) N_0} \frac{Eb}{N_0}} \right] \quad (9)$$

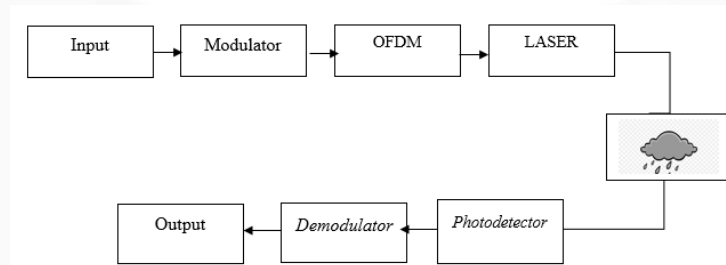
Dimana M merupakan M-ary QAM dengan $M=2^k$ dan $K=2,4,6\dots n$ (bilangan genap) sedangkan perbandingan nilai *energy* bit dengan noise (Eb/N_0) didapatkan pada persamaan berikut [13]:

$$\frac{Eb}{N_0} = \frac{S N}{W R} \quad (10)$$

Dimana S merupakan daya sinyal, N merupakan daya noise yang terukur, W merupakan besarnya *bandwidth* dan R adalah laju bit yang digunakan.

3. Pembahasan

3.1. Desain Sistem



Gambar 3. Desain perancangan sistem

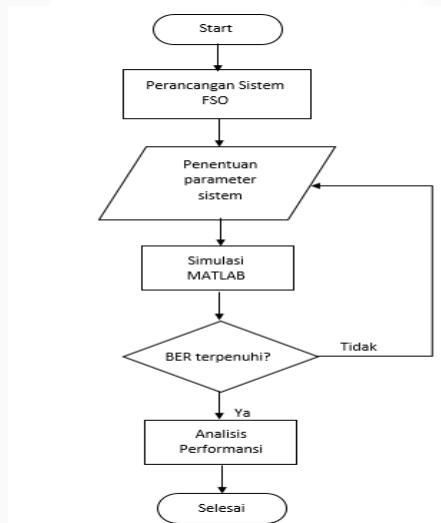
Pada Gambar 3 menampilkan gambaran desain sistem perancangan *Free Space Optic* pada saat kondisi cuaca hujan. Pada sisi *transmitter* terdapat input yang dikirim melewati modulator berupa sinyal informasi yang akan dilewatkan menuju modulasi sehingga dapat diubah menjadi sinyal digital menggunakan 4QAM. Selanjutnya sinyal informasi yang dikonversikan menjadi sinyal digital akan diteruskan menuju OFDM yang berfungsi untuk meminimalisir ISI dan ICI yang terdapat pada sinyal tersebut. Selanjutnya data akan diteruskan ke LASER sebagai media penghantar sinyal. Kemudian, LASER akan diteruskan menuju *receiver* dengan kondisi cuaca hujan. Pada *receiver* terdapat *photodetector* untuk menangkap cahaya dari laser. *Photodetector* yang digunakan yaitu jenis APD karena diperkirakan efisien untuk menangkap cahaya jarak jauh. Cahaya yang telah ditangkap tersebut kan dikonversikan kembali menjadi sinyal listrik. Kemudian langkah terakhir yaitu demodulator yang berfungsi untuk menyaring kembali sinyal sehingga tidak terdapat *noise*.

3.2 Parameter Simulasi

Tabel 3. Parameter perancangan sistem

Parameter	Keterangan	Nilai
Λ	Panjang Gelombang	1310, 1550 nm
L	Jarak antara transmitter dan receiver	0,5 – 10 km
R	Responsivitas photodetector APD	0,75
Q	Muatan electron	$1,6 \times 10^{-19}$ C
Bw	Bandwidth	1.5 Ghz
Rb	Bitrate	100 Mbps
G	Konstanta gravitasi	980 cm/s^2
α	Besarnya tetesan hujan	0.1 cm
η	Viskosivitas udara	$1,8 \times 10^{-4} \text{ g/cm.s}$
ρ	Kerapatan air hujan	1 g/cm^3
P	Daya transmisi	1, 5, 10 watt
Qscat	Koefisien Penghamburan	2
M	Mapper	4QAM
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform	512
CP	Cyclic Prefix	16
AC	AC bias	16

3.3 Diagram Alir Perancangan



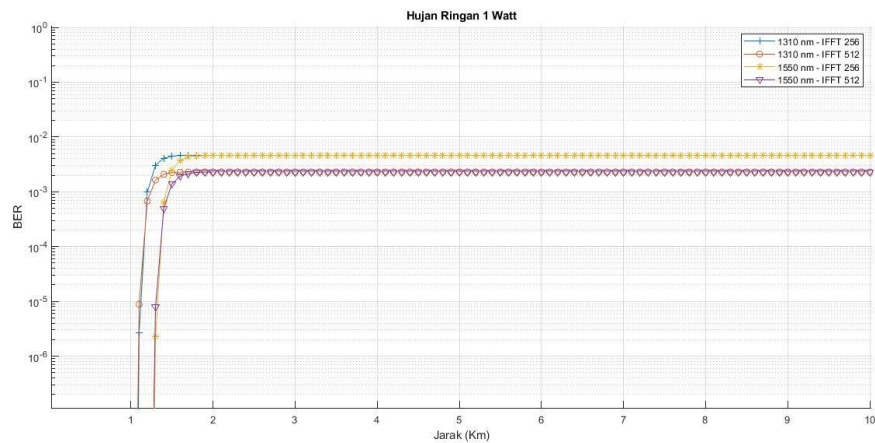
Gambar 4. Flowchart perancangan sistem

4. Hasil dan Analisis

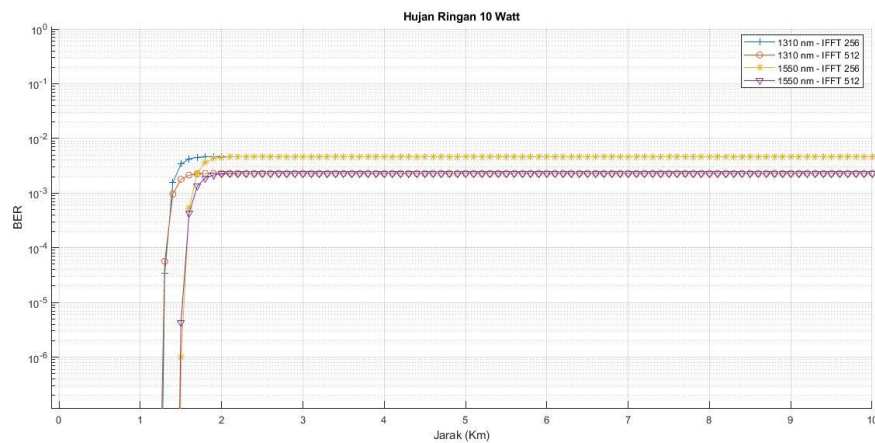
Analisis percobaan yang dilakukan pada hasil kalkulasi menggunakan dua jenis panjang gelombang sebesar 1310 nm dan 1550 nm, besaran nilai daya LASER dibedakan sebesar 1 Watt dan 10 Watt dan nilai FFT sebesar 256 dan 512. Masing-masing percobaan dilakukan pada jarak 0,5 – 10 km.

4.1 Analisis Simulasi Skenario I

Percobaan pertama dilakukan analisa simulasi dengan menggunakan gelombang 1310nm dan Percobaan pertama dilakukan analisa simulasi dengan menggunakan gelombang 1310 nm dan 1550 nm pada redaman hujan ringan dengan daya LASER sebesar 1 dan 10 Watt. Nilai IFFT yang digunakan sebesar 256 dan 512 dapat dilihat pada gambar 1 dan 2.



Gambar 4.1. Grafik BER pada kondisi hujan ringan daya 1 Watt

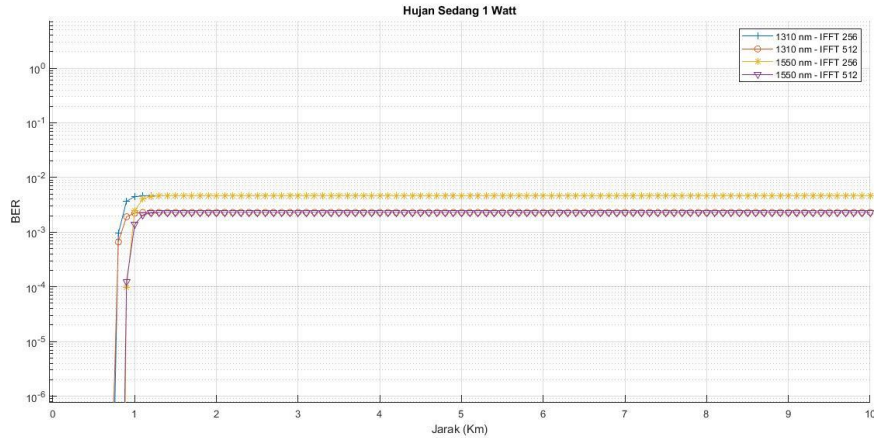


Gambar 2. Grafik BER pada kondisi hujan ringan daya 10 Watt

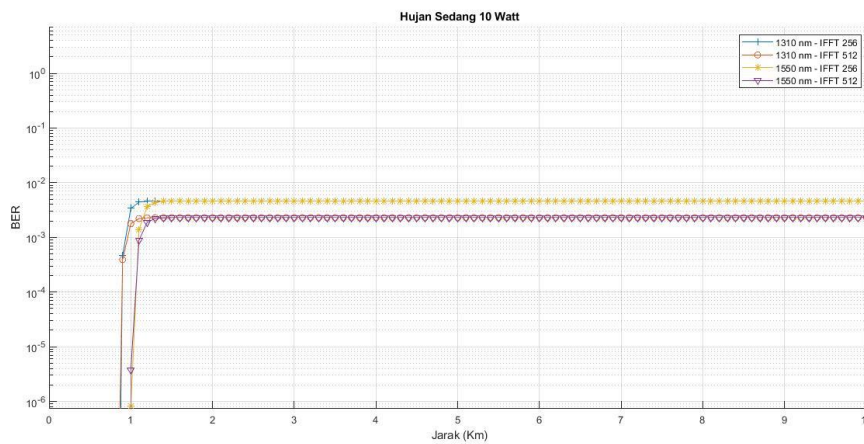
Pada gambar 1 dan 2 dapat dilihat perbedaan performansi BER pada kondisi hujan ringan dengan menggunakan masing-masing daya laser sebesar 1 dan 10 watt. Pada hujan ringan menggunakan daya 1 watt performansi BER yang paling kecil terdapat pada jarak 1.2 km ketika menggunakan panjang gelombang sebesar 1310 nm. Sedangkan, ketika menggunakan panjang gelombang 1550 nm dan daya laser 10 watt, jarak yang ditempuh pada nilai BER terkecil sejauh 1.5 km. Hal ini disebabkan semakin besar panjang gelombang dan daya laser yang dipancarkan sehingga sinar cahaya yang ditangkap oleh *photodetector* pada saat diterima oleh *receiver*, maka jarak yang ditempuh semakin jauh. Sedangkan pada jarak 2-10 km, nilai BER yang dihasilkan oleh masing-masing parameter sistem bernilai 10^{-2} dimana belum mencapai target BER di awal. Semakin kecil nilai BER yang didapatkan maka performansi sinyal yang diterima semakin bagus. Begitu pula dengan menggunakan FFT yang lebih besar, menghasilkan nilai BER yang kecil dibandingkan dengan FFT yang lebih rendah. Hal ini diakibatkan karena dengan menaikkan jumlah FFT dapat diartikan menambahkan simbol *subcarrier*. Simbol-simbol yang ditumpangkan lebih banyak jumlahnya sehingga dapat meminimalisir bit yang error.

4.2 Analisis simulasi skenario II

Percobaan kedua dilakukan analisis hasil simulasi dengan menggunakan panjang gelombang 1310 nm dan 1550 nm pada redaman hujan sedang. Daya LASER yang digunakan sebesar 1 dan 10 Watt dan nilai IFFT sebesar 256 dan 512.



Gambar 3. Grafik BER pada kondisi hujan sedang daya 1 Watt

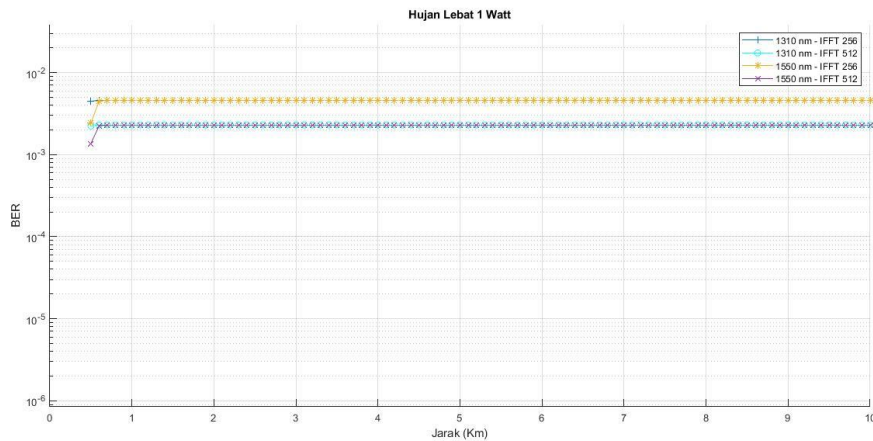


Gambar 4. Grafik BER pada kondisi hujan sedang daya 10 Watt

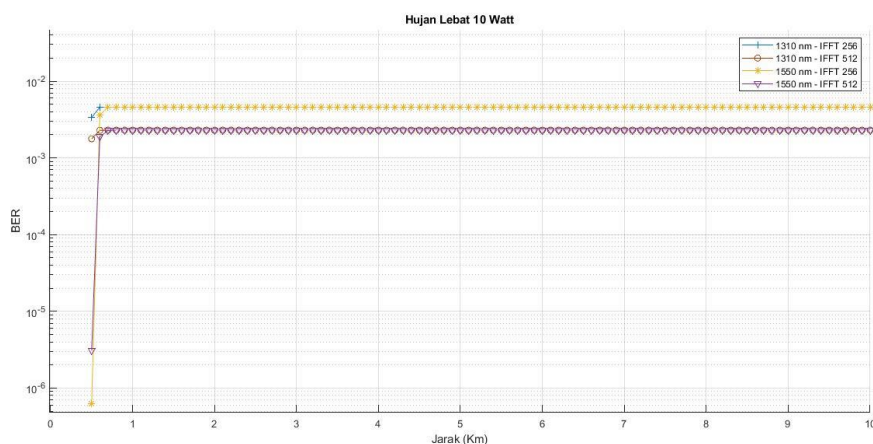
Pada gambar 3 dan 4 merupakan performansi BER pada kondisi hujan sedang. Dapat dilihat perbedaan performansi BER terhadap jarak pada kondisi hujan sedang dan hujan ringan. Pada hujan sedang performansi BER paling kecil yang dapat ditempuh terdapat pada link jarak < 1 km pada daya laser sebesar 1 watt. Sedangkan penambahan daya laser 10 watt menyebabkan kenaikan terhadap jarak yang ditempuh sebesar 1 km pada nilai BER 10^{-5} . Pada jarak link lebih dari 1 km dapat dilihat performansi bit error semakin besar. Hal ini diakibatkan oleh adanya intensitas curah hujan sedang yang lebih besar daripada hujan ringan sehingga mengganggu pengiriman sinyal informasi oleh laser yang ditangkap oleh penerima tidak maksimal.

4.3 Analisis simulasi skenario III

Percobaan ketiga dilakukan analisis hasil simulasi pada hujan lebat menggunakan panjang gelombang 1310 nm dan 1550 nm. Daya LASER yang digunakan sebesar 1 dan 10 Watt dan ilai FFT yang digunakan sebesar 256 dan 512.



Gambar 5. Grafik BER pada kondisi hujan lebat daya 1 Watt



Gambar 6. Grafik BER pada kondisi hujan lebat daya 10 Watt

Pada gambar 5 dan 6 dapat dilihat hasil grafik BER pada saat kondisi hujan lebat terjadi penurunan pada kualitas link dan performansi BER . Penggunaan daya laser sebesar 1 watt menghasilkan nilai BER yang sangat buruk, hanya berkisar 10^{-2} . Jarak link pada nilai BER yang paling kecil yaitu sejauh 0.5 km. Namun, jika menggunakan daya laser 10 Watt menghasilkan nilai BER terpenuhi sebesar 10^{-6} pada jarak 0.7 km dikarenakan pada photodetector APD terdapat penguatan internal sehingga lebih efektif untuk meningkatkan performansi. Intensitas curah hujan yang sangat besar jika dibandingkan dengan hujan ringan dan hujan sedang mengganggu pengiriman sinyal informasi dari *transmitter* ke *receiver*. Akibatnya, cahaya laser yang dipancarkan sehingga ditangkap oleh penerima menghasilkan performansi bit yang jelek pada jarak link lebih dari 0.7 km. Maka dari itu, sistem FSO tidak bisa digunakan pada link jarak lebih dari 2 km. Begitu juga dengan performansi BER yang drop pada jarak < 2 km disebabkan oleh interval link jarak yang digunakan sangat besar yaitu 10 km.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari percobaan simulasi diatas adalah sebagai berikut :

1. Dengan menggunakan jenis modulasi *multicarrier* ACO-OFDM dapat menghasilkan nilai BER sebesar 10^{-6} dikarenakan pengaruh dari *noise* dan interferensi yang dialami oleh sinyal informasi dapat dikurangi oleh *multicarrier* yang dimana lebih baik dibandingkan dengan *single carrier*.
2. Panjang gelombang dapat mempengaruhi kualitas nilai BER dimana panjang gelombang 1550 nm menghasilkan performansi BER dan yang bagus dan menambahkan jarak link yang jauh dibandingkan dengan 1310 nm.
3. Penambahan daya LASER sebesar 1 Watt dan 10 Watt sangat mempengaruhi perubahan nilai kualitas BER. Semakin besar nilai daya yang digunakan dapat meningkatkan performansi jarak link.
4. Penambahan jumlah FFT sangat mempengaruhi nilai kualitas BER. Perbandingan antara FFT 256 dan FFT 512 menghasilkan kenaikan BER yang cukup signifikan.

5. Intensitas curah hujan ringan, hujan sedang dan hujan lebat mengakibatkan jarak antar link yang ditempuh dari transmitter ke receiver semakin menurun diakibatkan intensitas curah hujan yang mengganggu pengiriman cahaya laser.

Daftar Pustaka:

- [1] Haryono, "Analisis Performansi Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) Sistem Free Space Optic (FSO) Dalam Kondisi Cuaca Cerah Menurut ITU-R. P. 1817," *Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya*, pp. 1-6, 2013.
- [2] S. C. Yean, "Free Space Optics Link for Wireless Local Area Network Application," *Universitas Teknologi Malaysia*, vol. 1, 2009.
- [3] B. S. Aritonang, "Analisis Performansi MIMO Spatial Diversity Pada Komunikasi Free Space Optic Dalam Kondisi Cuaca Buruk," *Jurnal eProceeding*, vol. V, p. 4550, 2018.
- [4] O. Widyarena, "Kinerja Sistem Komunikasi FSO (Free Space Optic) Menggunakan Cell-Site Diversity di Daerah Tropis," *Jurnal Teknik ITS*, vol. I, pp. A-37, 2012.
- [5] D. Aryanta, "Perancangan dan Implementasi Sistem Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) Dengan Menggunakan DSK-TMS320C6713," *Jurnal Elektro dan Telekomunikasi Terapan*, vol. 2, no. 2, 2015.
- [6] S. D. Dissanayake, "Comparison of ACO-OFDM, DCO-OFDM and ADO-OFDM in IM/DD System," *Journal Of Lightwave Technology*, vol. 31, no. 7, pp. 1063-1072, 2013.
- [7] Z. H. Gebeyehu, "BER Performance of Stratified ACO-OFDM for Optical Wireless Communication Over Multipath Channel," *Journal of Computer Networks and Communications*, vol. 2018, pp. 1-14, 2018.
- [8] A. F. Isnawati, "Klasifikasi Modulasi Digital Menggunakan Komunikasi Teknik Fuzzy Clustering dan Template Matching Sebagai Pengenalan Pola," *Jurnal Infotel*, vol. 5, no. 1, pp. 30-38, 2013.
- [9] S. A. Zabidi, "Investigating of Rain Attenuation Impact on Free Space Optics Propagation in Tropical Region," in *Mechatronics (ICOM)*, Malaysia, 2011.
- [10] N. K. Verma, "Analysis of Free Space Optical System Under Different Atmospheric Channel," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 04, no. 07, pp. 2395-0072, 2017.
- [11] K. d. G. Badan Meteorologi, "Kondisi Cuaca Ekstrem dan Iklim Tahun 2010-2011," press release, 2010.
- [12] H. A. Fadhil, "Optimization of Free Space Optics Parameters: An Optimum Solution for Bad Weather Condition," *elsevier*, pp. 3969-3973, 2013.
- [13] A. Y. Prasetya, "Implementasi Modulasi dan Demodulasi M-ary QAM Pada TMS320C6416T," *Jurnal Teknik POMITS*, vol. 2, pp. 2337-3539, 2013.

- [14] H. A. Fadhil, "Optimization of Free Space Optics Parameters: An Optimum Solution for Bad Weather Conditions," *elsevier*, pp. 3969-3973, 2013.

