

## ANALISIS PENGARUH REDAMAN HUJAN TERHADAP PERFORMANSI SISTEM KOMUNIKASI OPTIK RUANG BEBAS DENGAN MODULASI 16-QAM

### ANALYSIS OF RAIN ATTENUATION EFFECT ON FREE SPACE OPTIC COMMUNICATION SYSTEM PERFORMANCE WITH 16-QAM MODULATION

Aditia Nur Alamsah<sup>1</sup>, Kris Sujatmoko<sup>2</sup>, M. Irfan Maulana<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>. Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung

<sup>1</sup>aditianuralsah@student.telkomuniversity.ac.id, <sup>2</sup>krissujatmoko@telkomuniversity.ac.id,

<sup>3</sup>muhammadirfanm@telkomuniversity.ac.id

---

#### Abstrak

Sistem komunikasi serat optik telah menjadi pilihan untuk kebutuhan komunikasi karena kualitasnya yang baik dan dapat memenuhi kebutuhan komunikasi. Sistem komunikasi *Free Space Optics* (FSO) merupakan sistem komunikasi optik yang memiliki kemampuan untuk memberikan *data-rate* yang tinggi dengan menggunakan ruang bebas sebagai media transmisinya. Kondisi cuaca seperti hujan, kabut dan salju menjadi tantangan utama sistem komunikasi ini. Pada jurnal ini diusulkan sistem komunikasi FSO dengan jarak 3, 5 dan 10 km pada kondisi cuaca hujan dan menggunakan dua panjang gelombang yaitu 1310 nm dan 1550 nm. Hasil dari analisis ini bertujuan untuk menganalisa kinerja sistem komunikasi FSO yang akan dikur dengan menggunakan nilai *bit error rate* (BER) pada setiap skenario. Hasilnya dari BER akan dibandingkan untuk mengetahui parameter yang cocok untuk sistem komunikasi ini.

**Kata Kunci:** FSO, BER, redaman hujan

---

#### Abstract

*Fiber-optic communication systems have been chosen for communication needs because of their good quality and can meet communication needs. Free Space Optics (FSO) communication system is an optical communication system that provides high data rates by using free space as the transmission media. Weather conditions such as rain, fog, and snow are the main challenges of this system. In this journal, the FSO communication system is proposed with three distances that are 3, 5, and 10 km in rainy weather and uses two optical transmission windows that are 1310 nm and 1550 nm. The results of the analysis are to analyzed the performance of the FSO communication system that will be measured using the bit error rate (BER) in each scenario. The results of the BER are compared to find out the most suitable parameter for this communication system.*

**Key Word:** FSO, BER, rain attenuation

---

#### 1. Pendahuluan

Sistem komunikasi FSO merupakan sistem komunikasi nirkabel yang mengirimkan sinyal optik dengan menggunakan ruang bebas sebagai media transmisinya. Keunggulan FSO yaitu memiliki *bandwidth* yang tinggi, biaya pemasangan murah, daya rendah dan lebih aman tetapi sistem komunikasi ini sangat dipengaruhi oleh *turbulence* dan redaman kanal atmosfer seperti hujan, kabut dan salju [1].

Pada sistem komunikasi FSO terdapat proses modulasi. Modulasi *On-off-Keying* (OOK) adalah modulasi paling sederhana yang digunakan untuk FSO tetapi kinerja OOK akan berkurang pada kondisi redaman yang tinggi. Proses modulasi pada sistem komunikasi FSO dapat menggunakan teknik modulasi yang lebih tinggi seperti modulasi QAM untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Modulasi QAM merupakan modulasi yang efektif untuk komunikasi nirkabel karena dapat memberikan *data-rate* yang tinggi dan efisiensi *bandwidth* [2].

Pada implementasi sistem komunikasi FSO terdapat beberapa faktor yang perlu diperbaiki seperti penggunaan modulasi untuk mendapatkan nilai *Bit Error Rate* (BER) yang baik dan bagaimana mengatasi kondisi hujan dan redaman atmosfer lainnya. Maka dalam penelitian ini digunakan modulasi 16-QAM untuk menganalisa kualitas BER. Perancangan simulasi sistem komunikasi FSO pada penelitian ini menggunakan dua panjang gelombang dengan jarak 3, 5 dan 10 km dan daya 1 dan 5 watt pada tiga jenis redaman hujan yaitu hujan ringan, hujan sedang dan hujan lebat.

## 2. Konsep Dasar

### 2.1. Free Space Optic

*Free Space Optic* (FSO) adalah komunikasi optik yang dibentuk menggunakan teknologi *line-of-sight* (LOS) dan menggunakan *Light Amplification of Stimulated Emission by Radiation* (LASER) sebagai sumber cahayanya untuk melakukan koneksi dengan mentransmisikan sinar tampak melalui media atmosfer. FSO bekerja pada spektrum *unlicensed* dengan panjang gelombang 800-1700 nm. Pada jaringan transmisi FSO, data memiliki tingkat keamanan yang lebih tinggi karena dikirimkan melalui koneksi yang terenkripsi, selain itu sistem ini juga tahan terhadap gangguan elektromagnetik [3].

Sistem komunikasi FSO yang efektif harus memiliki karakteristik seperti kemampuan untuk beroperasi pada daya yang tinggi, menggunakan modulasi yang berkecepatan tinggi, memiliki daya yang rendah dan tahan pada berbagai kondisi cuaca sehingga kinerja untuk sistem *outdoor* akan lebih baik [4].

### 2.2. Redaman Hujan

Hujan adalah salah satu redaman yang dapat mengganggu proses transmisi pada komunikasi FSO. Redaman hujan di kategorikan pada hamburan *Non-Selective* karena radius tetesan hujan yang berukuran 100-1000  $\mu\text{m}$  lebih besar daripada panjang gelombang sistem FSO. Pengaruh yang ditimbulkan dari redaman hujan yaitu menghambat proses transmisi data dan memperkecil daya yang diterima oleh *receiver* [5].

Indonesia memiliki cuaca yang *ekstrem* dan intensitas hujan yang tinggi. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Indonesia mengelompokkan hujan menjadi tiga jenis yaitu hujan ringan, hujan sedang dan hujan lebat berdasarkan intensitasnya seperti pada tabel 2.1 [6].

**Tabel 2.1** Intensitas Curah Hujan di Wilayah Indonesia

Jenis Hujan	Intensitas Hujan (mm/hr)
Hujan Ringan	1-5
Hujan Sedang	5-10
Hujan Lebat	10-20

### 2.3. Modulasi QAM

*Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) merupakan modulasi yang dihasilkan dari kombinasi kesederhanaan modulasi amplitude dan kekebalan *noise* modulasi fasa. QAM adalah modulasi yang melakukan penggandaan data rate yang ditransmisikan tanpa adanya penambahan bandwidth transmisi [2]. M-ary QAM merupakan teknik modulasi yang paling efektif untuk komunikasi nirkabel dan memberikan *data rate* yang tinggi dengan diiringi peningkatan efisiensi *bandwidth*. M-ary QAM memiliki bentuk sebagai berikut 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM dan 256-QAM. Modulasi 16-QAM adalah skema modulasi yang dapat mengirimkan 4 bits tiap simbol sehingga penggunaan *bandwidth* menjadi lebih efisien [7].

## 3. Perancangan Sistem

### 3.1. Parameter performansi sistem

Kinerja sistem FSO dengan modulasi 16-QAM pada redaman hujan dihitung dengan menggunakan parameter-parameter sebagai berikut.

**Tabel 2.2** Parameter Pengujian Kinerja Sistem

Parameter	Keterangan	Nilai
$\lambda$	Panjang Gelombang	1310 nm dan 1550 nm
L	Jarak	3, 5, 10 km
$P_t$	Daya Transmisi	1 dan 5 watt
$R_b$	<i>bit-rate</i>	100 Mbps
$B_w$	Bandwidth	1,5 GHz
$\mathcal{R}$	Responsivitas <i>Photodetector</i> APD	0,75
$\mathcal{R}$	Responsivitas <i>Photodetector</i> PIN	0,6
$R_l$	Resistansi Beban	50 $\Omega$
$I_{d-APD}$	Dark Current APD	10 nA
x	<i>Indeks Excess Noise</i> InGaAs	0,7

**3.2. Parameter pengukur sistem**

1. *Signal-to-Noise Ratio* (SNR)

*Signal-to-Noise Ratio* (SNR) adalah perbandingan antara besar sinyal yang diterima dengan tingkat noise. Kualitas jaringan FSO salah satunya bisa diukur menggunakan perbandingan daya yang diterima di fotodetektor. Perhitungan SNR pada fotodetektor APD dapat menggunakan persamaan 4 [8].

$$SNR = \frac{I_p^2}{2qB_w(I_p+I_d)M^x+4K_bTBF_n/R_L M^{-2}} \tag{4}$$

dimana,  $B_w$  adalah *bandwidth*,  $q$  adalah satuan unit elektron,  $I_d$  adalah *dark current*,  $I_p$  adalah arus primer,  $T$  adalah suhu di fotodetektor,  $F_n$  adalah *noise figure*,  $M$  adalah faktor multiplikasi fotodetektor APD,  $x$  adalah indeks excess noise dan  $R_L$  adalah resistansi fotodetektor.

2. *Bit Error Rate* (BER)

*Bit Error Rate* (BER) adalah perbandingan antara jumlah bit yang *error* dengan jumlah total bit yang dikirimkan selama waktu pengamatan. BER digunakan untuk mengukur jumlah bit yang *error* per satuan waktu. Standar nilai BER pada komunikasi optik adalah  $10^{-9}$ . Nilai BER untuk modulasi QAM dapat dihitung menggunakan persamaan 5 dengan  $k$  adalah jumlah bit yang digunakan dan persamaan tambahan variabel  $x$  pada persamaan 6 [2].

$$BER = \frac{2}{k} \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) \operatorname{erfc} \left( \frac{x}{\sqrt{2}} \right) \tag{5}$$

$$x = \sqrt{\frac{3kE_b}{(M-1)N_o}} \tag{6}$$

Rasio energi tiap bit terhadap derau atau  $E_b/N_o$  pada perhitungan BER berkaitan dengan SNR yang dapat dihitung menggunakan persamaan 7.

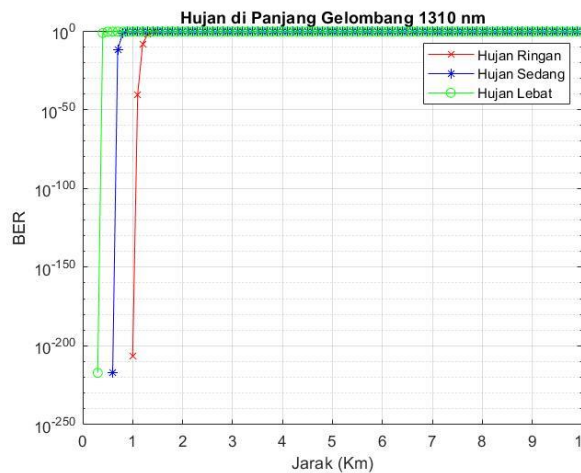
$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{SNR}{4} \tag{7}$$

**4. Hasil Pengujian**

**4.1. Analisis Hasil Skenario 1**

Pada skenario pertama menggunakan dua panjang gelombang 1310 nm dan 1550 nm dengan kondisi hujan ringan, hujan sedang dan hujan lebat. Simulasi dilakukan untuk menentukan pengaruh jarak terhadap nilai *bit error rate* (BER) yang diterima pada jarak 3, 5 dan 10 km.

**1. Pengujian BER dengan panjang gelombang 1310 nm**

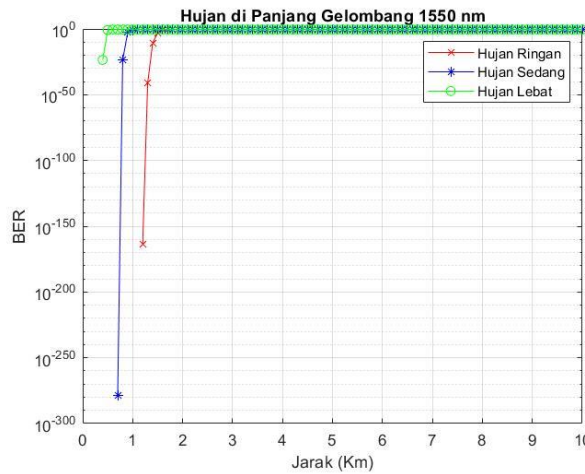


Gambar 4.1 Grafik BER terhadap jarak dengan panjang gelombang 1310 nm

Hasil simulasi untuk pengujian BER dengan panjang gelombang 1310 nm disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.1. Pada hasil simulasi di atas dapat dilihat bahwa kondisi cuaca dan jarak berpengaruh pada nilai BER dimana semakin jauh dan buruknya cuaca maka nilai BER semakin tinggi. Dengan perbandingan semua jenis

hujan dan pengaruh daya terima untuk nilai BER pada jarak 1-10 km dengan panjang gelombang 1310 nm memiliki nilai terbaik saat kondisi hujan ringan pada jarak 1,2 km yaitu  $4,56 \times 10^{-9}$  sementara itu untuk jarak uji 3,5 dan 10 km pada semua kondisi hujan memiliki nilai BER yang tinggi yaitu 0,375.

**2. Pengujian BER dengan panjang gelombang 1550 nm**



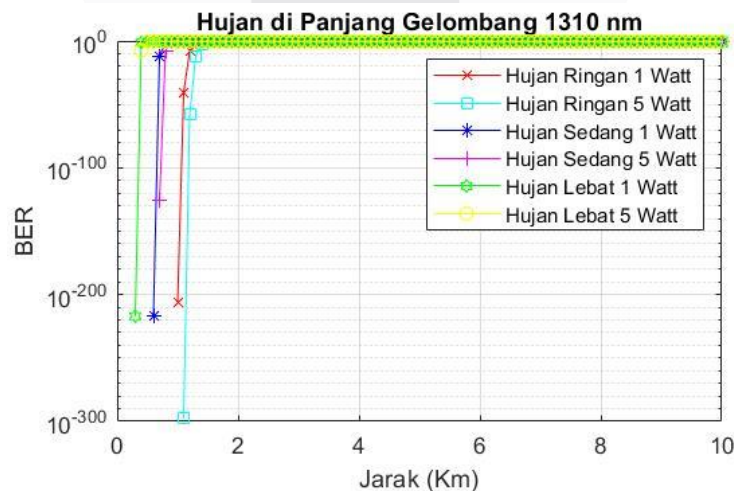
Gambar 4.2 Grafik BER terhadap jarak dengan panjang gelombang 1550 nm

Hasil simulasi untuk pengujian BER dengan panjang gelombang 1550 nm disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.2. Pada hasil simulasi di atas dapat dilihat bahwa kondisi cuaca dan jarak berpengaruh pada nilai BER dimana semakin jauh dan buruknya cuaca maka nilai BER semakin tinggi tetapi pada simulasi dengan panjang gelombang 1550 nm mengalami peningkatan dibandingkan dengan panjang gelombang 1310 nm yang berarti panjang gelombang juga mempengaruhi nilai BER pada sistem FSO. Pada Dengan perbandingan semua jenis hujan dan pengaruh daya terima untuk nilai BER pada jarak 1-10 km dengan panjang gelombang 1550 nm memiliki nilai terbaik saat kondisi hujan ringan pada jarak 1,4 km yaitu  $1,66 \times 10^{-11}$  sementara itu untuk jarak uji 3,5 dan 10 km turut mengalami peningkatan walaupun hanya sedikit yaitu saat kondisi hujan ringan pada jarak 3 km didapatkan nilai BER sebesar 0,374 dan untuk kondisi hujan lainnya nilai BER masih tetap yaitu 0,375.

**4.2. Analisis Hasil Skenario 2**

Pada skenario kedua menggunakan dua panjang gelombang 1310 nm dan 1550 nm dengan kondisi hujan ringan, hujan sedang dan hujan lebat. Pada skenario kedua ini digunakan dua daya berbeda yaitu 1 watt dan 5 watt. Simulasi dilakukan untuk menentukan pengaruh jarak terhadap nilai *bit error rate* (BER) yang diterima pada jarak 3, 5 dan 10 km.

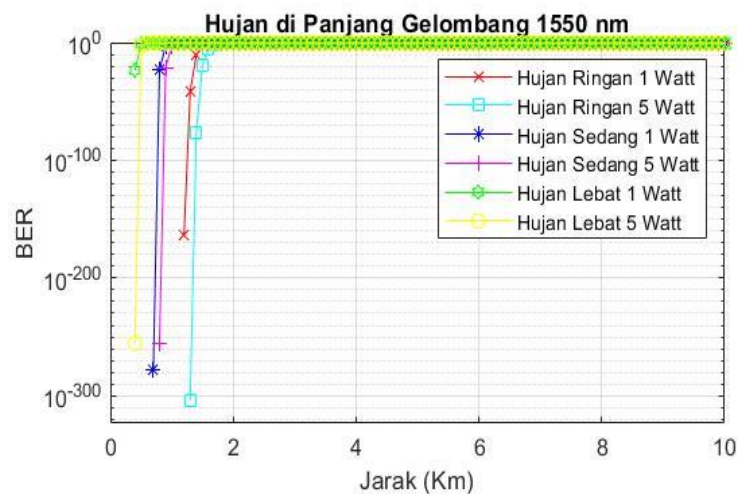
1. Pengujian BER dengan panjang gelombang 1310 nm dengan daya 1 watt dan 5 watt



Gambar 4.3 Grafik BER terhadap jarak dengan panjang gelombang 1310 nm dengan perbandingan daya

Hasil simulasi untuk pengujian BER dengan panjang gelombang 1310 nm dan daya 1 dan 5 watt disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.3. Pada hasil simulasi sebelumnya dapat dilihat bahwa kondisi cuaca, jarak dan panjang gelombang berpengaruh pada nilai BER dimana semakin jauh dan buruknya cuaca maka nilai BER semakin tinggi dan dengan panjang gelombang yang lebih tinggi nilai BER menjadi lebih baik. Pada simulasi sebelumnya pengaruh daya terima untuk nilai BER pada jarak 1-10 km dengan panjang gelombang 1310 nm dan daya 1 watt memiliki nilai terbaik saat kondisi hujan ringan pada jarak 1,2 km yaitu  $4,56 \times 10^{-9}$  kemudian dengan perbandingan semua jenis hujan dan digunakan daya yang lebih besar yaitu 5 watt dan dihasilkan nilai BER terbaik saat kondisi hujan ringan pada jarak 1,3 km yaitu  $1,81 \times 10^{-11}$  maka hasil ini membuktikan bahwa daya mempengaruhi nilai BER. Selanjutnya untuk jarak uji 3,5 dan 10 km pada kondisi hujan ringan memiliki nilai BER 0,374 pada jarak 3 km dan 0,375 pada jarak 5 dan 10 km, pada kondisi hujan ringan dan hujan lebat nilai BER pada jarak 3, 5 dan 10 km masih tinggi yaitu 0,375.

## 2. Pengujian BER dengan panjang gelombang 1310 nm dengan daya 1 watt dan 5 watt



Gambar 4.4 Grafik BER terhadap jarak dengan panjang gelombang 1550 nm dengan perbandingan daya

Hasil simulasi untuk pengujian BER dengan panjang gelombang 1550 nm dan daya 1 dan 5 watt disajikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 4.4. Pada hasil simulasi sebelumnya dapat dilihat bahwa kondisi cuaca, jarak dan panjang gelombang berpengaruh pada nilai BER dimana semakin jauh dan buruknya cuaca maka nilai BER semakin tinggi dan dengan panjang gelombang yang lebih tinggi nilai BER menjadi lebih baik. Pada simulasi sebelumnya pengaruh daya terima untuk nilai BER pada jarak 1-10 km dengan panjang gelombang 1550 nm dan daya 1 watt memiliki nilai terbaik saat kondisi hujan ringan pada jarak 1,4 km yaitu  $1,66 \times 10^{-11}$  kemudian pada dengan perbandingan semua jenis hujan dan digunakan daya yang lebih besar yaitu 5 watt dan dihasilkan nilai BER terbaik saat kondisi hujan ringan pada jarak 1,6 km yaitu  $4,47 \times 10^{-6}$  maka hasil ini membuktikan bahwa daya mempengaruhi nilai BER. Selanjutnya untuk jarak uji 3,5 dan 10 km pada kondisi hujan ringan memiliki nilai BER 0,374 pada jarak 3 km dan 0,375 pada jarak 5 dan 10 km, pada kondisi hujan ringan dan hujan lebat nilai BER pada jarak 3, 5 dan 10 km masih tinggi yaitu 0,375.

## 5. Kesimpulan

Hasil pengujian yang dilakukan pada panjang gelombang 1310 nm dan 1550 nm dengan kondisi hujan ringan, hujan sedang dan hujan lebat menunjukkan bahwa sistem FSO dengan modulasi 16 QAM memiliki kinerja yang bagus pada panjang gelombang 1550 nm dengan kondisi hujan ringan dengan daya 5 watt. Kinerja FSO pada perbandingan dua daya menunjukkan bahwa sistem dengan daya 5 watt didapatkan nilai BER yang lebih baik dengan jarak tempuh yang lebih jauh dengan daya 1 watt dan kinerja FSO dengan modulasi 16 QAM memiliki kinerja terbaik saat kondisi hujan ringan dan daya 1 watt dengan panjang gelombang 1310 nm yaitu  $4,56 \times 10^{-9}$  pada jarak 1,2 km dan dengan panjang gelombang 1550 nm yaitu  $1,66 \times 10^{-11}$  pada jarak 1,4 km dan pada kondisi hujan ringan dan daya 5 watt dengan panjang gelombang 1310 nm yaitu  $2,3 \times 10^{-9}$  pada jarak 1,32 km dan dengan panjang gelombang 1550 nm yaitu  $1,43 \times 10^{-9}$  pada jarak 1,56 km. Pengujian pada jarak 3, 5 dan 10 km untuk sistem FSO dengan menggunakan modulasi 16 QAM pada panjang gelombang 1310 nm dan 1550 nm dan daya 1 watt dan 5 watt masih memiliki nilai BER yang tinggi yaitu antara 0,374 - 0,375.

## 6. Referensi

- [1] Jha, P. K., Kachare, N., Kalyani, K., & Kumar, D. S. (2018). Performance analysis of FSO using relays and spatial diversity under log-normal fading channel. *Proceedings of the 4th International Conference on Electrical Energy Systems, ICEES 2018*, 121–125.
- [2] Kaur, J., Miglani, R., Malhotra, J. S., & Gaba, G. S. (2015). Performance analysis of M-ary QAM modulated FSO links over turbulent AWGN channel. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(15), 35322–35327.
- [3] MAJUMDAR, A. K. (2015). Advanced Free Space Optics (Fso) - a System Approach. In *Springer* (Vol. 140).
- [4] Malik, A., & Singh, P. (2015). Free Space Optics: Current Applications and Future Challenges. *International Journal of Optics*, 2015(November 2015).
- [5] Alkholidi and K. Altowij, “Effect of Clear Atmospheric Turbulence on Quality of Free Space Optical Communications in Western Asia,” *Opt. Commun. Syst.*, no. March 2012, 2012.
- [6] BMKG, “Kondisi cuaca ekstrem dan iklim tahun 2010-2011,” *Press Release*, pp. 7–9, 2010.
- [7] Sadinov, S. M. (2017). Simulation study of M-ARY QAM modulation techniques using Matlab/Simulink. *2017 40th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO 2017 - Proceedings*, (1), 547–554.
- [8] O. Kharraz and D. Forsyth, “PIN and APD photodetector efficiencies in the longer wavelength range 1300-1550 nm,” *Optik (Stuttg.)*, vol. 124, no. 16, pp. 2574–2576, 2013.