

## ANALISIS KINERJA KANAL BERKABUT PADA *FREE SPACE OPTICS*

### *PERFORMANCE ANALYSIS OF FOG CHANNEL ON FREE SPACE OPTICS*

Fajria Nur Rahmawati<sup>1</sup>, Akhmad Hambali<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>fajriarahmawati@student.telkomuniversity.ac.id, <sup>2</sup>ahambali@telkomuniversity.ac.id

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

---

#### Abstrak

Sistem komunikasi *free space optics* (FSO) atau yang biasa disebut dengan *wireless optic*, merupakan sistem komunikasi optik yang menggunakan atmosfer sebagai media propagasinya. Keunggulan sistem komunikasi FSO dengan sistem komunikasi nirkabel lainnya yaitu sistem komunikasi FSO mempunyai *bandwidth* yang lebih lebar, biaya instalasi murah, dan lebih mudah dan cepat dalam proses penyebaran. Problematika yang sering dihadapi dari sistem komunikasi FSO adalah adanya kendala cuaca, salah satunya saat terjadi hujan. Intensitas hujan yang tinggi di Indonesia membuat sistem komunikasi FSO mengalami berbagai kendala. Redaman hujan membuat sistem komunikasi FSO mengalami perubahan dari segi kinerjanya, untuk itu perlu dilakukan pengamatan bagaimana kinerja dari sistem komunikasi *free space optics* saat terjadi hujan, dengan menghitung *Signal to Noise Rasio* (SNR) dan *Bit Error Rate* (BER) dari simulasi. Hasil BER baik apabila hasilnya mendekati nilai ideal BER, nilai ideal BER transmisi optik adalah  $10^{-9}$ . Banyak faktor yang mempengaruhi hasil nilai BER dan SNR, seperti nilai redaman, panjang link atau jarak, dan juga kondisi cuaca yang terjadi.

**Kata kunci:** *free space optics*, *wireless optics*, BER, SNR.

---

#### Abstract

*Free space optics communication system, or commonly referred to as optical wireless, is an optical communication system that uses the atmosphere as its propagation medium. The advantages of free space optics communication systems with other wireless communication systems namely free space optics communication systems have wider bandwidth, cheaper installation costs, and are easier and faster in the deployment process. Problems that are often faced from free space optics communication systems are the weather constraints, one of which is when there is rain. The high intensity of rain in Rasio makes the free space optics communication system experiencing various obstacles. Attenuation of rain makes the free space optics communication system change in terms of performance, therefore it is necessary to observe how the performance of the free space optics communication system when it rains, by calculating the Signal to Noise Rasio (SNR) and Bit Error Rate (BER) and) from the simulation. The results of BER are good if the result is close to the ideal value of BER, the ideal value of optical transmission BER is  $10^{-9}$ . Many factors influence the results of the BER and SNR values, such as attenuation values, link length or distance, and also the weather conditions that occur.*

**Key word:** *free space optics*, *wireless optics*, BER, SNR.

---

## 1. Pendahuluan

*Free space optics* merupakan sistem komunikasi optik yang menggunakan atmosfer sebagai media propagasinya. FSO dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kondisi cuaca, absorpsi, turbulensi, dan redaman atmosfer, akibatnya sistem komunikasi ini dihadapkan oleh tantangan terbesar antara lain redaman yang disebabkan oleh absorpsi dan hamburan sinar oleh partikel gas [1].

Penerapan dari teknologi sistem komunikasi *free space optics* ialah sebagai salah satu alternatif untuk menggantikan sistem komunikasi *wireless* RF, jika kondisi propagasinya dari sistem komunikasi *free space optics* memungkinkan, dan bila masalah isu lisensi frekuensi dan masalah interferensi gelombang, membatasi perkembangan sistem komunikasi *wireless* RF [2].

## 2. Dasar Teori

### A. Sistem Komunikasi *Free Space Optics*

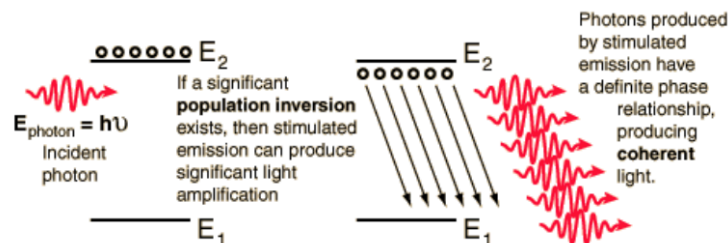
Sistem komunikasi *free space optics* (FSO) merupakan sistem komunikasi optik yang menggunakan atmosfer sebagai media propagasinya. Sistem komunikasi FSO dapat memberikan laju data ultra-tinggi (pada Gb/s), sistem

ini juga kebal terhadap interferensi elektromagnetik, dengan tingkat keamanan yang sangat baik dan bandwidth besar yaitu ratusan atau bahkan seribu kali lebih tinggi daripada sistem frekuensi radio (RF) namun dengan instalasi dan biaya operasional yang lebih rendah [2]. Sistem komunikasi FSO dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kondisi cuaca, absorpsi, turbulensi, dan redaman atmosfer, akibatnya sistem komunikasi ini dihadapkan oleh tantangan terbesar antara lain redaman yang disebabkan oleh absorpsi dan hamburan sinar oleh partikel gas. Untuk itu diperlukan link margin tambahan untuk mengatasi masalah cuaca agar sistem dapat bekerja dengan baik.

Di Indonesia, perubahan cuaca yang *ekstrem* dapat menyebabkan sinyal mengalami penyebaran dan depolarisasi gelombang [3]. Kinerja dari sistem komunikasi FSO tentunya sangat dipengaruhi oleh kondisi tersebut.

### B. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER)

LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) adalah perangkat yang memancarkan cahaya dimana berkas cahayanya memiliki satu karakteristik atau monokromatik. Cahaya yang dipancarkan juga koheren atau memiliki fasa dan arah yang sama. Pancarannya juga sempit dan terfokus [4]. Laser hadir dalam berbagai bentuk dengan dimensi mulai dari ukuran sebutir garam hingga yang akan menempati seluruh ruangan. Media laser dapat berupa gas, cairan, *insulating crystal* (keadaan padat), atau semikonduktor. Untuk optik laser yang paling cocok digunakan hanya yang menggunakan semikonduktor [5].



Gambar 1 Emisi pada laser

Beberapa jenis laser, seperti laser dye dan laser vibronik benda-padat (vibronic solid-state lasers) dapat memproduksi cahaya lewat jangka lebar gelombang; properti ini membuat mereka cocok untuk penciptaan detak singkat sangat pendek dari cahaya, dalam jangka femtodetik ( $10^{-15}$  detik). Banyak teori mekanika kuantum dan termodinamika dapat digunakan kepada aksi laser, meskipun nyatanya banyak jenis laser ditemukan dengan cara trial and error [4].

### C. Fotodetektor

Fotodetektor adalah perangkat optoelektronik yang berada di sisi penerimaan transmisi. Perangkat ini menerima cahaya yang dikirimkan dari sisi pengirim, lalu mengubah cahaya tersebut menjadi listrik. Selama pengiriman cahaya tersebut, sinyal optik umumnya lemah sehingga fotodetektor umumnya harus memiliki sensitivitas yang tinggi, bandwidth yang memadai serta tingkat noise yang rendah [5].

Fotodetektor memiliki beberapa kriteria agar kinerjanya maksimal yaitu:

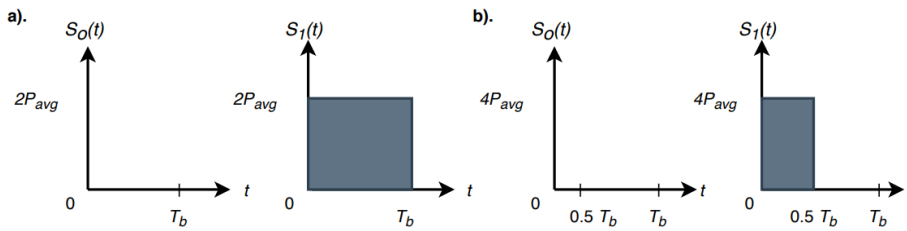
1. Sensitivitas dan responsivitas yang tinggi pada panjang gelombang yang dipakai.
2. Cakupan deteksi dari fotodetektor yang luas.
3. Ukuran yang kecil dan reliability tinggi.
4. Noise rendah, SNR yang tinggi.

Terdapat 2 tipe fotodetektor yang digunakan pada komunikasi optik, yaitu fotodetektor Positive Intrinsic Negative (PIN) dan Avalanche Photodetector (APD) [5].

### D. On-Off Keying

Modulasi adalah proses penumpangan sinyal informasi yang terkandung dalam rentang frekuensi kedalam sinyal pembawanya. Sedangkan modulasi digital memiliki pengertian sebuah proses mengubah karakteristik dan sifat dari sinyal pembawa atau *carrier* sehingga berbentuk bit-bit (0 atau 1). Skema dari modulasi OOK dianalogikan sama halnya seperti sebuah saklar, dimana hanya ada dua kondisi, yaitu *on* dan *off*. Bit 1 mewakili dari pulsa optik yang menempati keseluruhan atau sebagian dari durasi bit, sedangkan bit 0 mewakili dari tidak ada atau hilangnya pulsa optik. Dalam pengimplematsiannya, NRZ digunakan pada sistem komunikasi yang

berkecepatan tinggi dari rentang 155 Mbps sampai dengan 10 Gbps, Contohnya Gigabit *Ethernet* pada 1 Gbps dan Fibre Channel pada 800 Mbps [6]. Modulasi *On Off Keying* (OOK) termasuk dalam bagian dari jenis modulasi digital yaitu ASK, dan merupakan modulasi yang paling sederhana diantara modulasi-modulasi digital lainnya.

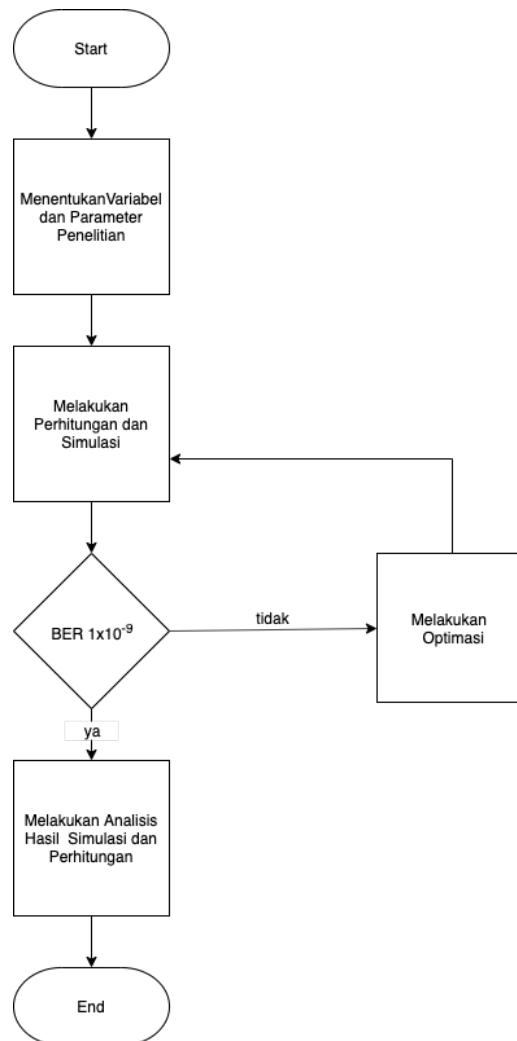


Gambar 2 Hasil Modulasi OOK: a) NRZ dan b) RZ ( $\gamma = 0,5$ )

Skema kerja dari modulasi OOK dianalogikan sama seperti sebuah saklar, di mana hanya ada dua kondisi, yaitu on dan off. Bit satu diwakili oleh pulsa optik yang menempati seluruh atau sebagian dari durasi bit. Sementara bit nol diwakili oleh tidak adanya pulsa optik. Skema Return-to-Zero (RZ) dan non-Return-to-Zero (NRZ) keduanya dapat diterapkan [2].

### 3. Perancangan

#### A. Perancangan Sistem



Gambar 3 Diagram Alir Tahap Pelatihan dan Pengujian

## B. Parameter Performansi Sistem

Setelah dilakukan tahap proses data latih dan data uji, maka tahap selanjutnya yaitu akan dilakukan evaluasi terhadap performansi sistem. Evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari sistem yang telah dirancang, apakah layak atau tidak. Performansi sistem dapat diukur dengan menggunakan parameter sebagai berikut :

### a. Signal to Noise rasio (SNR)

SNR atau S/N adalah pengukuran berdasarkan perbandingan antara level power sinyal informasi dengan level *power noise* yang diterima pada saat *transmit*. SNR ini adalah suatu parameter untuk menunjukkan suatu tingkat kualitas sinyal penerimaan, dimana apabila semakin besar harga SNR maka kualitas akan semakin baik. Nilai SNR diperoleh dari persamaan berikut:

$$SNR = \frac{(P_{rx} \times M)^2}{2 \times q \times (I_p \times I_D) \times B \times M^2 \times F(M) + 2 \times q \times I_L \times B + \frac{4 \times K_B \times T \times B}{R_L}} \quad (1)$$

B adalah bandwidth sinyal, q adalah satuan nilai elektron,  $I_D$  adalah nilai arus gelap, nilai suhu dalam *photodetector* diwakili oleh T. *Photodetector* PIN memiliki nilai faktor multifikasi (M) atau *noise figure* (Fn) yang bernilai 1,  $R_L$  adalah beban resistor aktif dari *photodetector*. Jumlah IP dihitung dari persamaan berikut [7]

$$I_p = R \times P_r \quad (2)$$

R ialah nilai *responsivitas photodetector* yaitu 0.9 A/W dan nilai  $P_r$  atau daya yang diterima didapatkan dari hasil persamaan

$$P_r = P_t \tau_t \tau_r \frac{D^2}{\theta^2 L^2} 10^{AL/10} \quad (3)$$

### b. Bit Error Rate (BER)

BER merupakan rasio perbandingan antara jumlah bit yang rusak dengan jumlah bit yang dikirimkan secara keseluruhan. Nilai BER dikatakan baik apabila nilainya semakin kecil, sehingga kualitas transfer data semakin baik. Karena menggunakan modulasi OOK NRZ dan RZ maka nilai BER didapat dari persamaan berikut [8]:

$$BER \text{ OOK NRZ} = \frac{1}{2} \times \operatorname{erfc} \left( \frac{1}{2\sqrt{2}} \times \sqrt{SNR} \right) \quad (4)$$

dan BER untuk OOK RZ didapat dari perhitungan berikut ini

$$BER \text{ OOK RZ} = \frac{1}{2} \times \operatorname{erfc} \left( \frac{1}{2} \times \sqrt{SNR} \right) \quad (5)$$

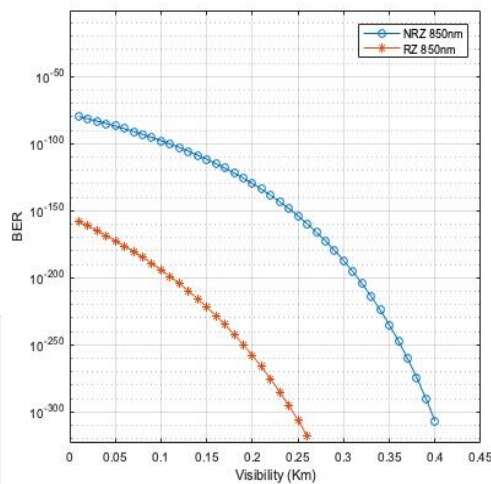
Pada FSO, tingkat kualitas BER dapat dikatakan sudah baik belum ditetapkan secara global besar nilainya [9]. Sehingga pada tugas akhir ini tingkat kualitas BER yang digunakan adalah sebesar  $10^{-9}$ .

## 4. Hasil Pengujian

### A. Analisis Hasil Simulasi Skenario 1

Pada sub bab ini disajikan hasil simulasi sistem FSO skenario satu. Pada simulasi ini terdapat beberapa variasi yang dikerjakan, diantaranya yaitu dengan menggunakan panjang link 1 Km serta panjang gelombang 850nm dan 1550nm pada *atmospheric channel* berupa *fog* atau kabut. Pada tahap akhir simulasi ini dilakukan kalkulasi terhadap rasio daya yang diterima, dan cakupan luas komunikasi yang dapat diterima dengan batas minimal *bit error rate* selanjutnya dilakukan analisis.

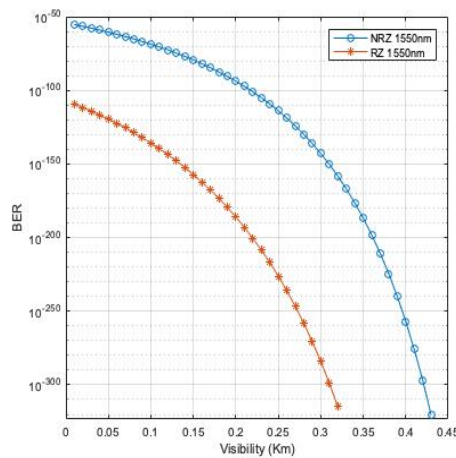
a. Pengujian BER dengan *Visibility* pada panjang link 1 Km dan panjang gelombang 850nm.



Gambar 4. Grafik BER terhadap daya terima dengan panjang link 1 Km dan panjang gelombang 850nm

Pada Gambar 4.1 menunjukkan perbandingan dari jarak *visibility* dalam km terhadap nilai BER. Pada hasil simulasi nilai BER NRZ dan RZ pada *visibility* terjauh yaitu 1 Km dengan panjang gelombang 850nm adalah 0 dan untuk *visibility* terdekat yaitu 0,01 Km dengan panjang gelombang 850nm BER NRZ sebesar  $3,816 \times 10^{-79}$  dan BER RZ sebesar  $4,873 \times 10^{-156}$ . Untuk BER OOK NRZ mulai dari jarak *visibility* 0,41 Km sampai dengan 1 Km hasilnya 0, dan untuk BER OOK RZ mulai dari jarak *visibility* 0,26 Km sampai dengan 1 Km hasilnya 0.

b. Pengujian BER dengan *Visibility* pada panjang link 1 Km dan panjang gelombang 1550nm



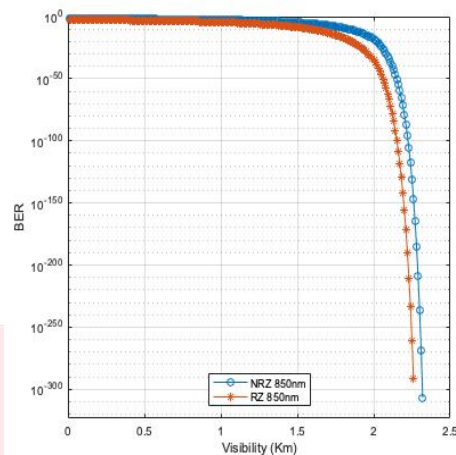
Gambar 5. Grafik BER terhadap jarak *visibility* dengan panjang link 1 Km dan panjang gelombang 1550nm

Pada Gambar 4.2 menunjukkan perbandingan dari jarak *visibility* dalam km terhadap nilai BER. Pada hasil simulasi nilai BER NRZ dan RZ pada *visibility* terjauh yaitu 1 Km dengan panjang gelombang 1550nm adalah 0 dan untuk *visibility* terdekat yaitu 0,01 Km dengan panjang gelombang 850nm BER NRZ sebesar  $3,135 \times 10^{-55}$  dan BER RZ sebesar  $2,737 \times 10^{-108}$ . Untuk BER OOK NRZ mulai dari jarak *visibility* 0,43 Km sampai dengan 1 Km hasilnya 0, dan untuk BER OOK RZ mulai dari jarak *visibility* 0,33 Km sampai dengan 1 Km hasilnya 0.

**B. Analisis Hasil Simulasi Skenario 2**

Pada sub bab ini disajikan hasil simulasi sistem FSO skenario satu. Pada simulasi ini terdapat beberapa variasi yang dikerjakan, diantaranya yaitu dengan menggunakan panjang link 3 Km serta panjang gelombang 850nm dan 1550nm pada *atmospheric channel* berupa *fog* atau kabut. Pada tahap akhir simulasi ini dilakukan kalkulasi terhadap rasio daya yang diterima, dan cakupan luas komunikasi yang dapat diterima dengan batas minimal *bit error rate* selanjutnya dilakukan analisis.

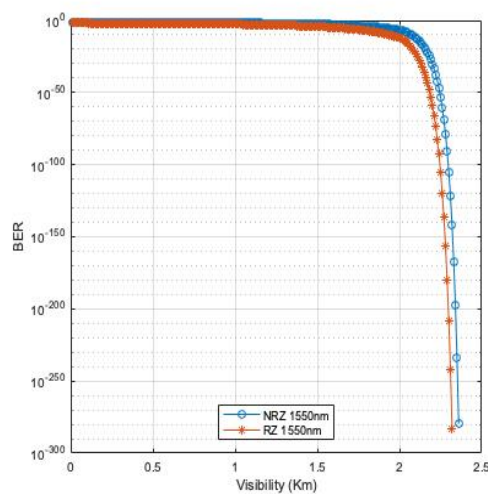
a. Pengujian BER dengan *Visibility* pada panjang link 3 Km dan panjang gelombang 850nm.



Gambar 6. Grafik BER terhadap *visibility* dengan panjang link 3 Km dan panjang gelombang 850nm

Pada Gambar 4.3 menunjukkan perbandingan dari jarak *visibility* dalam km terhadap nilai BER. Pada hasil simulasi nilai BER NRZ dan RZ pada *visibility* terjauh yaitu 3 Km dengan panjang gelombang 850nm adalah 0 dan untuk *visibility* terdekat yaitu 0,01 Km dengan panjang gelombang 1550nm BER NRZ sebesar 0,02737533 dan BER RZ sebesar 0,003298893. Untuk BER OOK NRZ ideal sebesar  $10^{-9}$  berada di jarak *visibility* 1,76 – 1,8 Km. Untuk BER OOK RZ ideal sebesar  $10^{-9}$  berada di jarak *visibility* 1,47 – 1,53 Km. BER OOK NRZ mulai dari jarak *visibility* 2,33 Km sampai dengan 3 Km hasilnya 0, dan untuk BER OOK RZ mulai dari jarak *visibility* 2,27 Km sampai dengan 3 Km hasilnya 0.

b. Pengujian BER dengan *Visibility* pada panjang link 3 Km dan panjang gelombang 1550nm.



Gambar 7. Grafik BER terhadap jarak *visibility* dengan panjang link 3 Km dan panjang gelombang 1550nm

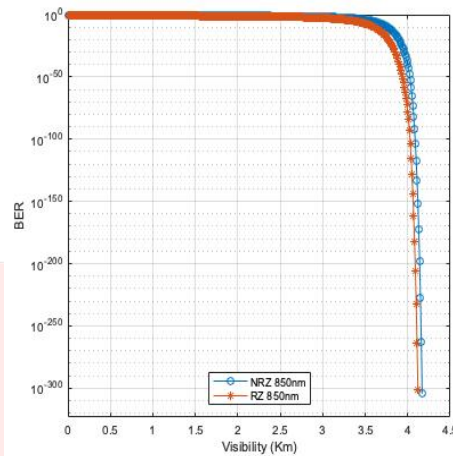
Pada Gambar 4.4 menunjukkan perbandingan dari jarak *visibility* dalam km terhadap nilai BER. Pada hasil simulasi nilai BER NRZ dan RZ pada *visibility* terjauh yaitu 3 Km dengan panjang gelombang 1550nm adalah 0 dan untuk *visibility* terdekat yaitu 0,01 Km dengan panjang gelombang 1550nm BER NRZ sebesar 0,02737533 dan BER RZ sebesar 0,003298893. Untuk BER OOK NRZ ideal sebesar  $10^{-9}$  berada di jarak *visibility* 1,76 – 1,8 Km. Untuk BER OOK RZ ideal sebesar  $10^{-9}$  berada di jarak *visibility* 1,47 – 1,53 Km. BER OOK NRZ mulai dari jarak *visibility* 2,33 Km sampai dengan 3 Km hasilnya 0, dan untuk BER OOK RZ mulai dari jarak *visibility* 2,27 Km sampai dengan 3 Km hasilnya 0.

### C. Analisis Hasil Simulasi Skenario 3

Pada sub bab ini disajikan hasil simulasi sistem FSO skenario satu. Pada simulasi ini terdapat beberapa variasi yang dikerjakan, diantaranya yaitu dengan menggunakan panjang link 5 Km serta panjang gelombang 850nm dan 1550nm pada *atmospheric channel* berupa *fog* atau kabut. Pada tahap akhir simulasi ini dilakukan

kalkulasi terhadap rasio daya yang diterima, dan cakupan luas komunikasi yang dapat diterima dengan batas minimal *bit error rate* selanjutnya dilakukan analisis.

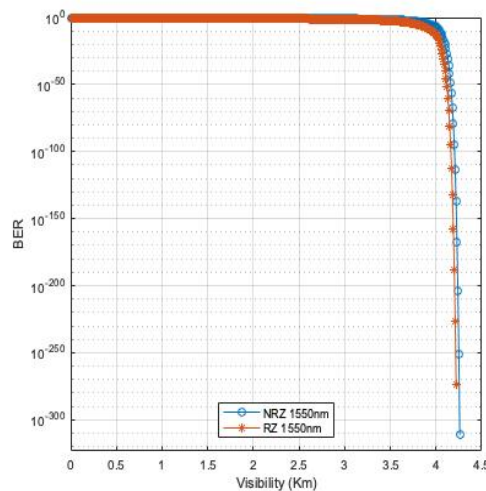
**a. Pengujian BER dengan *Visibility* pada panjang link 5 Km dan panjang gelombang 850nm.**



Gambar 8. Grafik BER terhadap *visibility* dengan panjang link 5 Km dan panjang gelombang 850nm.

Pada Gambar 4.5 menunjukkan perbandingan dari jarak *visibility* dalam km terhadap nilai BER. Pada hasil simulasi nilai BER NRZ pada *visibility* terjauh yaitu 4,99 Km dengan panjang gelombang 850nm adalah  $4,590 \times 10^{-57}$  dan BER RZ pada *visibility* terjauh yaitu 4,99 Km dengan panjang gelombang 850nm adalah  $5,964 \times 10^{-112}$  dan untuk *visibility* terdekat yaitu 0,01 Km dengan panjang gelombang 850nm BER NRZ sebesar 0,26185173, dan BER RZ sebesar 0,183589766. Untuk BER OOK NRZ ideal sebesar  $10^{-9}$  berada di jarak *visibility* 4,81 –4,83 Km. Untuk BER OOK RZ ideal sebesar  $10^{-9}$  berada di jarak *visibility* 4,46 –4,54 Km.

**b. Pengujian BER dengan *Visibility* pada panjang link 5 Km dan panjang gelombang 1550nm.**



Gambar 9. Grafik BER terhadap jarak *visibility* dengan panjang link 5 Km dan panjang gelombang 1550nm.

Pada Gambar 4.6 menunjukkan perbandingan dari jarak *visibility* dalam km terhadap nilai BER. Pada hasil simulasi nilai BER NRZ dan RZ pada *visibility* terjauh yaitu 4,99 Km dengan panjang gelombang 1550nm adalah 0 dan untuk *visibility* terdekat yaitu 0,01 Km dengan panjang gelombang 1550nm BER NRZ sebesar 0,313506133 dan BER RZ sebesar 0,245972734. Untuk BER OOK NRZ ideal sebesar  $10^{-9}$  berada di jarak *visibility* 4,02 Km. Untuk BER OOK RZ ideal sebesar  $10^{-9}$  berada di jarak *visibility* 3,91 –3,92 Km. BER OOK NRZ mulai dari jarak *visibility* 4,27 Km sampai dengan 5 Km hasilnya 0, dan untuk BER OOK RZ mulai dari jarak *visibility* 4,23 Km sampai dengan 5 Km hasilnya 0.



## 5. Kesimpulan

Hasil pengujian dengan panjang gelombang 850 nm, dan 1550 nm menunjukkan bahwa panjang gelombang 1550 nm merupakan panjang gelombang yang paling baik dan cocok digunakan pada komunikasi *Free Space Optics* karena memiliki nilai BER yang paling baik atau paling rendah. BER memenuhi standard minimum yaitu  $10^{-9}$  ketika *visibility* ada di kisaran 1 sampai dengan 2 Km untuk skenario 2 dengan panjang link 3 Km, dan 3,9 sampai dengan 4,1 Km untuk skenario 3 dengan panjang link 5 Km.

## Daftar Pustaka

- [1] S. C. Yean, *Free Space Optics Link for Wireless Local Area Network Application*, Universitas Teknologi Malaysia, 2009.
- [2] X. Zhu and J. M. Kahn, *Free-space Optical Communications through Atmospheric Turbulence Channels*, vol. 11, *IEEE Transaction on Communications*, 2002, pp. 1293-1300.
- [3] E. Setijadi, A. Matsushima, N. Tanaka and G. Hendranto, "Effect of temperature and multiple scattering on rain attenuation of electromagnetic waves by a simple spherical model," vol. 99, *Progress in Electromagnetics Research*, 2009, pp. 339-354.
- [4] Z. Ghassemlooy, W. Popoola and S. Rajbhandari, *Optical Wireless Communications*, FL: Taylor & Francis Group, LLC, 2013.
- [5] G. Keiser, *Optical Fiber Communication 3rd Edition*, Singapore: Mc-Graw Hill.
- [6] P. G. Hewwit, *Conceptual Physic*, 2009.
- [7] S. Goname, H. A. Fayed, A. A. El Aziz and M. H. Aly, "Performance Analysis of FSO Communication System: Effects of Fog, Rain and Humidity," in *2016 Sixth International Conference on Digital Information Processing and Communications (ICPC)*. *IEEE*, 2016.
- [8] T. Y. Elganimi, "Studying the BER Performance, Power- and Bandwidth- Efficiency for FSO Communication Systems under Various Modulation Schemes," in *2013 IEEE Jordan Conference on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies (AEECT)*, Jordan, 2013.
- [9] M. A. Esmail, H. Fathallah and M.-S. Alouni, "Outdoor FSO Communications Under Fog: Attenuation Modeling and Performance Evaluation," in *IEEE Photonics Society Publication*, 2016.