

## ANALISA 16-QAM DAN OOK PADA KANAL *KIM* DAN *KRUSE* DI SISTEM KOMUNIKASI RUANG BEBAS

### ANALYSIS OF 16-QAM AND OOK PERFORMANCE ON *KIM* AND *KRUSE* CHANNEL IN FREE SPACE COMMUNICATION SYSTEM

Sarvina Dewi<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

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

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

---

#### Abstrak

*Free Space Optic (FSO)* merupakan sistem komunikasi yang memanfaatkan atmosfer sebagai media propagasi. Dengan itu perlu dilakukan penelitian pengaruh kondisi atmosfer terhadap kualitas dari sistem komunikasi FSO. Penelitian ini melakukan analisa kinerja transmisi FSO di model kanal *Kim* dan *Kruse* menggunakan teknik modulasi 16-*Quadrature Amplitude Modulation*, *On-Off-Keying (OOK)-RZ*, dan *OOK-NRZ* di sisi pengirim dan APD *photodetector* sebagai penerima. Parameter yang diamati yaitu *Bit Error Rate (BER)* terhadap perubahan *visibility* 1-6 km, daya 1-5 watt, dan jarak *link* 1-10 km pada panjang gelombang 850 nm, 1310 nm, dan 1550 nm. Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa kanal *Kim* dan *Kruse* dapat bekerja pada link yang jauh dengan memadukan panjang gelombang dan daya kirim. Perbandingan menunjukkan bahwa *OOK-RZ* memiliki kinerja lebih baik dari 16-QAM dan *OOK-RZ* sehingga *OOK-RZ* dapat menempuh *link* lebih jauh.

**Kata kunci :** *Free Space Optic*, *OOK-RZ*, *OOK-NRZ*, 16-QAM, BER

---

#### Abstract

*Free Space Optics (FSO)* is a communication system that utilizes the atmosphere as a propagation medium. Therefore, it is necessary to research the influence of atmospheric conditions on the quality of the FSO communication system. This study analyzes the performance of FSO transmissions on the *Kim* and *Kruse* channel models using 16-*Quadrature Amplitude Modulation*, *On-Off-Keying (OOK)-RZ*, and *OOK-NRZ* on transmitter and the APD *photodetector* as the receiver. The parameters observed were *Bit Error Rate (BER)* for changes in the *visibility* of 1-6 km, power of 1-5 watts, and link distance of 1-10 km at wavelengths of 850 nm, 1310 nm, and 1550 nm. The results of the simulation show that the *Kim* and *Kruse* channels can work on distant links by combining wavelength and sending power. The comparison shows that *OOK-RZ* has better performance than 16-QAM and *OOK-RZ* so *OOK-RZ* can take the link further.

**Keywords:** *Free Space Optic*, *OOK-RZ*, *OOK-NRZ*, 16-QAM, BER

---

#### 1. Pendahuluan

*Free Space Optic (FSO)* merupakan sistem komunikasi yang memanfaatkan atmosfer sebagai media propagasi [1]. Teknologi FSO dikembangkan dengan memberikan layanan *bandwidth* yang lebar atas kebutuhan user yang kian meningkat. FSO berbeda dengan sistem komunikasi gelombang radio, FSO gelombang pembawa tidak menggunakan gelombang elektromagnetik atau listrik, tetapi memanfaatkan berkas cahaya.

Penelitian ini melakukan analisa kinerja transmisi sistem komunikasi FSO pada kanal *Kim* dan *Kruse* menggunakan skema modulasi 16-QAM, *OOK-RZ*, dan *OOK-NRZ*. Selain modulasi, parameter yang diamati yaitu variasi panjang gelombang antara lain 850 nm, 1310 nm, dan 1550 nm. Pengamatan yang dilakukan menganalisa performansi terhadap perubahan jarak 1-10 km, perubahan daya kirim 1-5 watt, dan perubahan *visibility* 1-6 km.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Free Space Optic

Teknologi *Free Space Optic* (FSO) merupakan pengembangan teknologi komunikasi *fiber optic*. Berbeda dengan *fiber optic* komunikasi FSO melakukan proses pertukaran informasi tanpa kanal fisik. Komunikasi FSO bekerja pada kisaran panjang gelombang inframerah antara 700 nm hingga 1600 nm [1].

Komunikasi FSO, mentransmisikan sinyal dengan menyebarkan berkas cahaya melalui *free space* (ruang bebas), udara, *vacuum space* sehingga dapat dikategorikan dalam komunikasi *wireless* [2]. FSO mampu memberikan layanan teks, suara, dan video.

### 2.2 Kanal Atmosfer

*Visibility* atmosfer adalah ukuran yang berguna untuk memprediksi kondisi lingkungan atmosfer [3]. Redaman yang disebabkan oleh *fog* dapat diprediksi dengan menerapkan teori hamburan *Mie*. Perhitungan dengan menggunakan hamburan *Mie* cukup rumit dan memerlukan detail informasi parameter *fog*. Selain itu, terdapat dua model kanal yang dapat menghitung besar redaman atmosfer menggunakan *visibility* yaitu kanal model *Kim* dan model *Kruse*. Persamaan dasar untuk menghitung besarnya redaman atmosfer adalah sebagai berikut [4]:

$$A = \frac{3.91}{V} \left( \frac{\lambda}{550} \right)^{-q} \quad (1)$$

V adalah *visibility* dalam km,  $\lambda$  adalah panjang gelombang dalam nm, q adalah ukuran partikel di atmosfer, dan A adalah redaman atmosfer dalam dB/km. Pada model *Kim* bisa digunakan untuk kondisi *visibility* yang rendah karena lebih spesifik. Persamaan untuk mencari ukuran partikel pada kanal model *Kim* sebagai berikut [3]

$$q = \begin{cases} 1.6, & V \geq 50 \text{ km} \\ 1.3, & 6 \text{ km} \leq V < 50 \text{ km} \\ 0.16V + 0.34, & 1 \text{ km} \leq V < 6 \text{ km} \\ V - 0.5, & 0.5 \text{ km} \leq V < 1 \text{ km} \\ 0, & V < 0.5 \text{ km} \end{cases} \quad (2)$$

Ukuran partikel Model *Kruse* dapat dilihat pada persamaan berikut [3]

$$q = \begin{cases} 1.6, & V \geq 50 \text{ km} \\ 1.3, & 6 \text{ km} \leq V < 50 \text{ km} \\ 0.585V^{\frac{1}{3}}, & V < 6 \text{ km} \end{cases} \quad (3)$$

Kondisi cuaca yang berbeda dapat ditentukan berdasarkan nilai rentang visibilitasnya. Berdasarkan Tabel 2.4 merangkum kisaran visibilitas dan redaman untuk kondisi cuaca yang berbeda. [3].

**Tabel 1** Rentang Nilai Visibilitas dan Redaman [3].

Kondisi Atmosfer	Visibility (m)	Attenuasi (dB/km)
Dense Fog	50	315
Thick Fog	200	75
Moderate Fog	500	28.9
Light Fog	770	18.3
Very Light Fog	1000	13.8
Light mist	2000	6.6
Very Light Mist	4000	3.1
Clear Air	20000	0.54
Very Clear Air	50000	0.19

### 2.3 Light Amplification by Simulated Emission of Radiation (LASER)

LASER adalah perangkat yang memancarkan cahaya dimana berkas cahaya bersifat monokromatik. LASER memiliki berkas cahaya yang sempit yang memancarkan cahaya secara terfokus sehingga dapat menjangkau komunikasi jarak jauh.

### 2.4 Avalanche Photodetector

APD *Photodetector* bekerja menggunakan *reverse bias* pada medan listrik yang tinggi sehingga menyebabkan terjadinya *avalanche effect* yang menghasilkan *impact ionization* dan terjadinya multiplikasi *avalanche* sehingga terjadinya multiplikasi arus, multiplikasi terjadinya karena terciptanya hole-elektron baru [3].

### 2.5 Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

*Quadrature amplitude modulation* (QAM) merupakan kombinasi antara modulasi *Amplitude Shift Keying* (ASK) dan modulasi *Phase Shift Keying* (PSK). ASK, FSK, PSK merupakan modulasi dasar sederhana dengan memodulasi satu bit per simbol [5].

### 2.6 On-Off-Keying (OOK)

Modulasi *On-Off Keying* (OOK) merupakan modulasi sederhana dengan merepresentasikan bit "1" dan "0" sebagai *on* dan *off*. Modulasi OOK terdapat dua format yaitu *Non Return to Zero* (NRZ) dan *Return to Zero* (RZ).

Perbedaan antara format NRZ dengan RZ yaitu dimana intensitas optik pada NRZ yaitu tidak kembali ke nol berturut-turut, pulsa bit "1" menempati seluruh interval bit tidak ada pulsa yang digunakan untuk bit "0". Sedangkan pada format RZ, pulsa untuk bit "1" hanya menempati sebagian kecil dari interval bit dan tidak ada pulsa yang digunakan untuk bit "1". RZ selalu memungkinkan intensitas kembali ke nol antara dua bit "1" berturut-turut [6].

## 3. Perancangan Sistem

### 3.1 Parameter Pengujian Sistem

Kinerja sistem FSO dengan modulasi 16-QAM, OOK-RZ, dan OOK-NRZ di kanal *Kim* dan *Kruse* dihitung dengan menggunakan parameter sebagai berikut.

Tabel 2 Parameter Pengujian Kinerja Sistem

Parameter	Keterangan	Nilai
$\lambda$	Panjang Gelombang	850 nm, 1310 nm, 1550 nm
L	Panjang <i>Link</i>	3 km, 5 km, 10 km
Bw	<i>Bandwidth</i>	1 Ghz
RL	Hambatan atau Resistansi Beban	1000 ohm
D	Diameter Penerima	$1 \times 10^{-5}$ km
Div	Sudut Divergensi	$2 \times 10^{-3}$ Radian
Pt	Daya Kirim	1 dan 5 Watt
$\tau t$	Efisiensi Pengirim	0.75
$\tau r$	Efisiensi Penerima	0.75
Ro	Responsivitas <i>Photodetector</i> APD	0.75
Mo	<i>Gain</i> Awal	1
Kb	Konstanta Blotzman	$1.38 \times 10^{-23}$ J/K
T	Suhu	298 Kelvin
x	<i>Excess Noise</i>	0.7
q	Muatan Elektron	$1.6 \times 10^{-19}$ Joule
Id	<i>Dark Current</i>	$1 \times 10^{-9}$ Ampere
M	Indeks Modulasi	16
k	Bit Modulasi ( $k = \log_2 M$ )	4

### 3.2 Parameter Performasi Sistem

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

*Signal to Noise Ratio* (SNR) adalah perbandingan antara daya sinyal yang diinginkan dengan daya sinyal yang tidak diinginkan (*noise*). SNR menyatakan kualitas sinyal informasi yang diterima di *photodetector*. Untuk menghitung nilai SNR pada APD *photodetector* bisa dilihat persamaan 2.13 [7]

$$SNR = \frac{I_p^2}{2qB(I_p + I_D)M^x + 4K_B T B F_n / R_L} \quad (4)$$

dengan B adalah *bandwidth*, q adalah satuan unit elektron,  $I_p$  adalah *average photocurrent*,  $I_D$  adalah *dark current*, T adalah temperature di *photodetector*,  $F_n$  adalah *noise figure*, dan  $R_L$  adalah resistansi *photodetector*.

$$P_r = P_t \tau_t \tau_r \frac{D^2}{\theta^2 L^2} \left( 10^{\frac{AL}{10}} \right) \quad (5)$$

$P_t$  adalah daya kirim (Watt),  $\tau_t$  adalah efisiensi pengirim,  $\tau_r$  adalah efisiensi penerima, D adalah diameter menerima,  $\theta$  adalah sudut divergensi pengirim, L adalah jarak dari pengirim ke penerima, dan A adalah redaman atmosfer.

#### b. Bit Error Rate (BER)

*Bit error rate* (BER) adalah parameter untuk mengetahui seberapa baik suatu kinerja komunikasi FSO. Nilai BER dengan kualitas terbaik jika memenuhi  $BER = 10^{-9}$

$$BER_{OOK-RZ} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{1}{2} \sqrt{SNR} \right) \quad (6)$$

$$BER_{OOK-NRZ} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{1}{2\sqrt{2}} \sqrt{SNR} \right) \quad (7)$$

$$BER_{M-QAM} = \left( \frac{2}{k} \right) \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) \operatorname{erfc} \left( \frac{x}{\sqrt{2}} \right) \quad (8)$$

Dimana k adalah  $\log_2 M$ , M adalah nilai Mary yang digunakan pada modulasi, dan x dapat dicari menggunakan persamaan 6.

$$x = \sqrt{\frac{3kE_b}{(M-1)N_o}} \quad (9)$$

Untuk nilai SNR pada M-QAM didapatkan dari persamaan berikut:

$$SNR = \log_2 M * \frac{E_b}{N_o} \quad (10)$$

Sehingga dari persamaan 8 dan 10 didapatkan BER untuk modulasi 16-QAM sebagai berikut

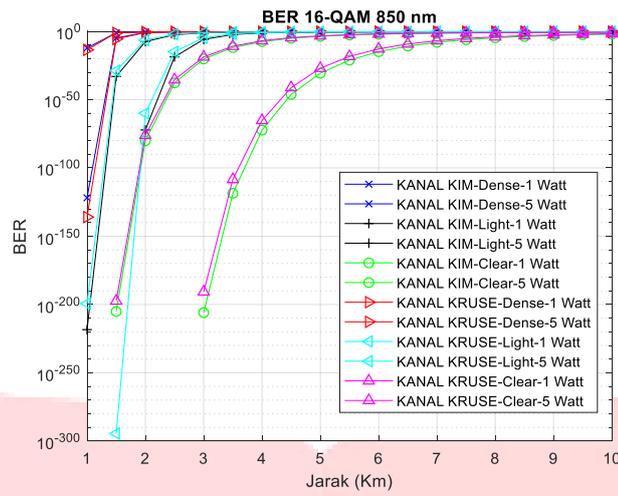
$$BER_{16-QAM} = \left( \frac{2}{4} \right) \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) \operatorname{erfc} \left( \frac{\sqrt{\frac{3k}{(M-1)^2} \frac{SNR}{4}}}{\sqrt{2}} \right) \quad (11)$$

## 4. Hasil Pengujian

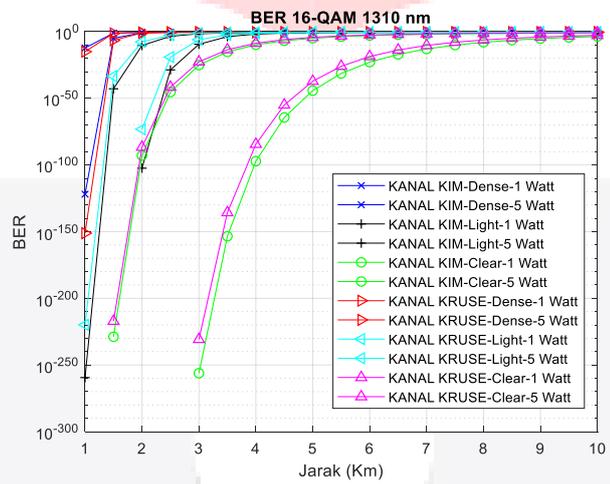
Pengujian dilakukan dengan menggunakan teknik modulasi 16-QAM, OOK-RZ dan OOK-NRZ pada komunikasi FSO, dengan variasi panjang gelombang yang digunakan yaitu 850 nm, 1310 nm, dan 1550 nm dan kondisi atmosfer *dense fog*, *light fog*, dan *clear air* atau dapat dilihat dari Rentang nilai visibilitas pada Tabel 1.

### 4.1 Analisa 16-QAM pada Kanal Kim dan Kruse

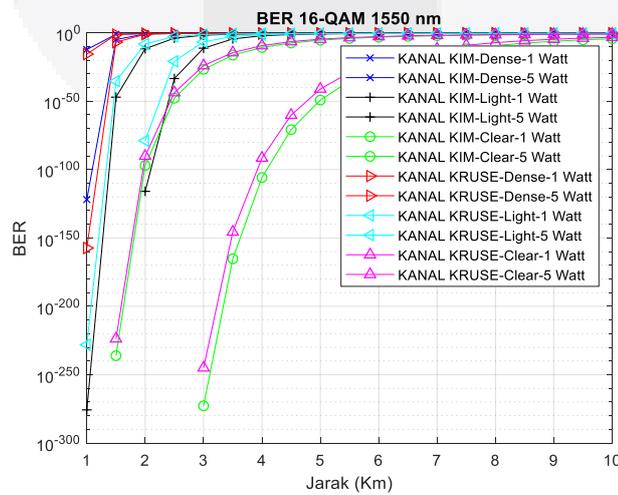
Untuk melihat perbandingan yang signifikan pada modulasi 16-QAM di tiga variasi panjang gelombang yaitu dengan melakukan perubahan dua variabel. Variabel daya 1 watt dan 5 watt lalu variabel jarak dari 0 sampai 10 km. Pada kondisi atmosfer *dense fog* dengan nilai *visibility* 0,3, *light fog* dengan nilai *visibility* 0,8, dan untuk *clear air* yaitu 4.



Gambar 1 Grafik BER 16-QAM Perubahan Dua Variabel pada 850 nm.



Gambar 2 Grafik BER 16-QAM Perubahan Dua Variabel pada 1310 nm.



Gambar 3 Grafik BER 16-QAM Perubahan Dua Variabel pada 1550 nm.

Pengujian ini didapatkan hasil untuk kanal *Kim* kondisi *dense fog* di 850 nm dan 1350 nm didapatkan BER standar di jarak maksimum 1 km, sedangkan untuk 1550 nm pada daya 1 watt mencapai 1 km dan 5 watt yaitu 1,5 km. Dan kanal *Kruse* kondisi *dense fog* pada ketiga panjang gelombang dengan daya 1 dan 2 watt hanya mencapai jarak 1 km.

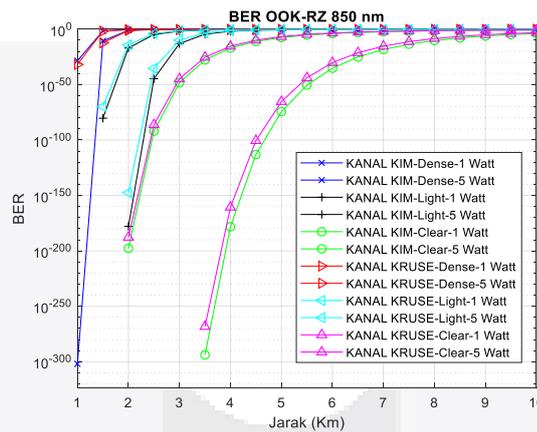
Kondisi atmosfer *light fog* dengan daya 1 watt pada kanal *Kim* yaitu 1,5 km, 1310 nm dan 1550 nm yaitu jarak maksimum mencapai BER standar 2 km. pada kanal *Kruse* 850 nm dan 1310 nm yaitu 1,5 km dan untuk 1550 nm yaitu 2 km. Sedangkan kondisi atmosfer *light fog* dengan daya 5 watt pada kanal *Kim* yaitu 2 km, 1310 nm dan 1550 nm yaitu jarak maksimum mencapai BER standar 3 km. pada kanal *Kruse* di tiga panjang gelombang jarak maksimum dengan kualitas BER baik yaitu 2,5 km.

Kondisi atmosfer *clear air* dengan daya 1 watt pada kanal *Kim* di 850 yaitu 3,5 km. Pada kanal *Kruse* di 850 yaitu 3 km. Sedangkan untuk 1310 nm dan 1550 nmpada kedua kanal dengan kualitas BER terbaik mencapai jarak 4 km. Kondisi atmosfer *clear air* dengan daya 5 watt pada kanal *Kim* di 850 nm 1310 nm dan 1550 nm yaitu 7 km, 7,5 km, dan 8 km. Kondisi atmosfer *clear air* dengan daya 5 watt pada kanal *Kruse* didapatkan pada 850 nm 1310 nm dan 1550 nm yaitu 6,5 km, 7 km, dan 7,5 km.

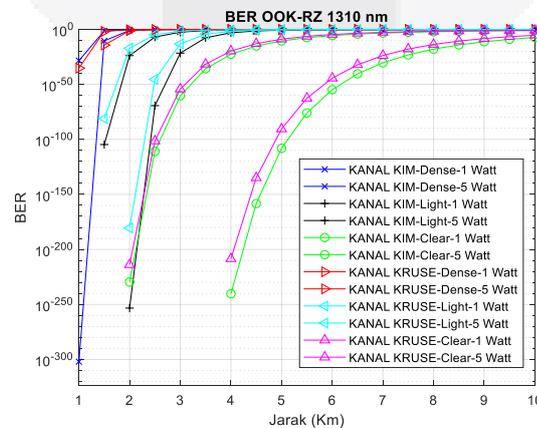
Pada kedua kanal menunjukkan bahwa dengan meningkatnya daya didapatkan jarak *link* dengan kualitas BER standar lebih jauh. Pada pengujian ini menunjukkan bahwa, masih belum bisa untuk mendapatkan BER di jarak 10 km.

**4.2 Analisa OOK-RZ pada Kanal Kim dan Kruse**

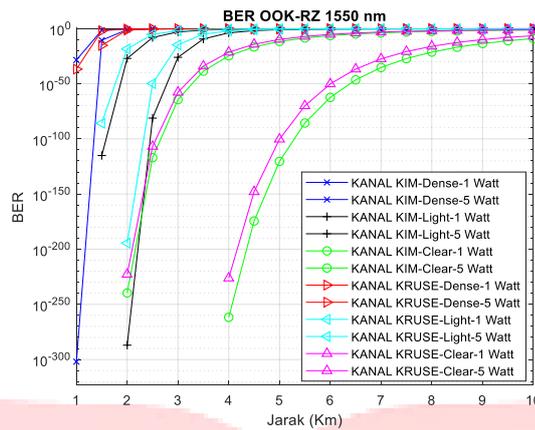
Selanjutnya pada modulasi OOK-RZ melakukan pengujian kulaitas FSO dengan parameter yang sama pada pengujian 16-QAM.



**Gambar 4** Grafik BER OOK-RZ Perubahan Dua Variabel pada 850 nm.



**Gambar 5** Grafik BER OOK-RZ Perubahan Dua Variabel pada 1310 nm.



Gambar 6 Grafik BER OOK-RZ Perubahan Dua Variabel pada 1550 nm.

Pada jenis kondisi atmosfer *dense fog* di kedua model kanal menunjukkan bahwa pada ketiga panjang gelombang saat daya 1 watt nilai BER mampu mencapai standar sampai jarak 1 km. Sedangkan untuk daya 5 watt di ketiga panjang gelombang sampai jarak 1,5 km.

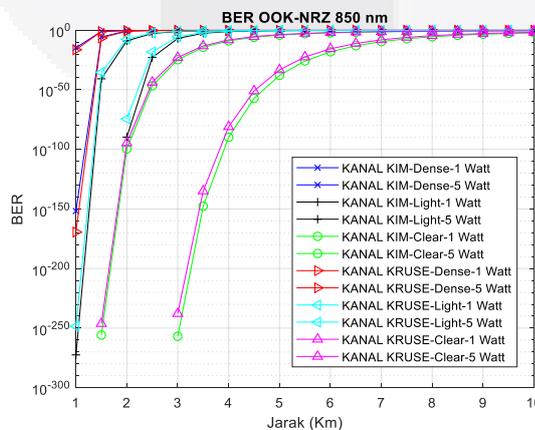
Kondisi atmosfer *light fog* dengan daya 1 watt di kanal *Kim* pada panjang gelombang 850 nm dan 1310 nm yaitu jarak maksimum dengan BER mencapai standar 2 km. dan 1550 nm mencapai 2,5 km. Sedangkan kanal *Kruse* di ketiga variansi panjang gelombang didapatkan jarak maksimum yaitu 2 km. Untuk daya 5 watt kondisi atmosfer *light fog* di kanal *Kim* pada panjang gelombang 850 nm dan 1310 nm yaitu jarak maksimum dengan BER mencapai standar 3 km. dan 1550 nm mencapai 3,5 km. Sedangkan kanal *Kruse* di ketiga variansi panjang gelombang didapatkan jarak maksimum yaitu 3 km.

Kondisi atmosfer *clear air* dengan daya 1 watt untuk kanal *Kim* dan *Kruse* 850 nm, 1310 nm, dan 1550 nm yaitu 4,5 km, 5 km, dan 5,5 km. Untuk daya 5 watt pada kanal *Kim* 850 nm, 1310 nm, dan 1550 nm yaitu jarak maksimum 8 km, 9,5 km, dan 10 km. Pada kanal *Kruse* yaitu 7,5 km, 9 km, dan 9,5 km.

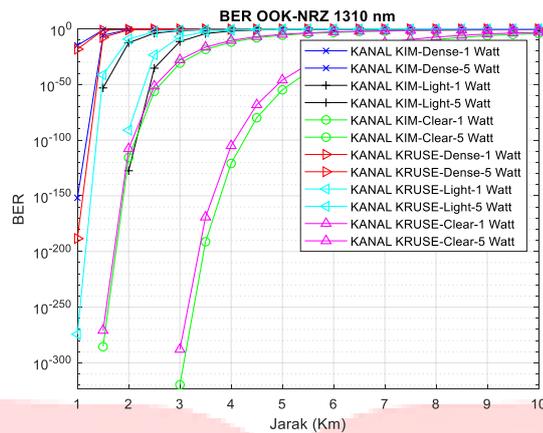
Pada pengujian ini menunjukkan bahwa, kondisi *clear air* 1550 nm dengan daya 5 watt didapatkan BER standar sampai jarak *link* 10 km. Sehingga untuk mendapatkan jarak *link* yang lebih jauh dengan BER standar yaitu meningkatkan daya dan panjang gelombang yang ke lebih tinggi.

4.3 Analisa OOK-NRZ pada Kanal *Kim* dan *Kruse*

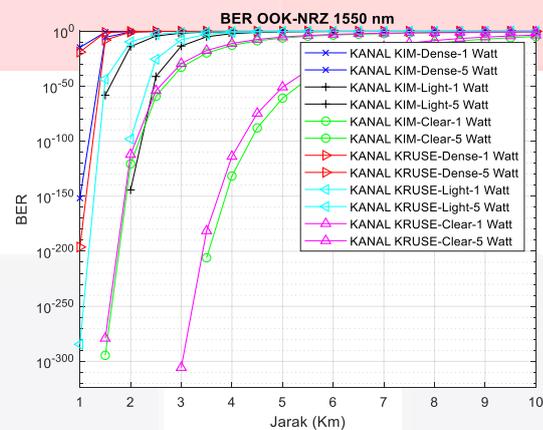
Selanjutnya pada modulasi OOK-NRZ melakukan pengujian kulaitas FSO dengan parameter yang sama pada pengujian 16-QAM dan OOK-RZ.



Gambar 7 Grafik BER OOK-NRZ Perubahan Dua Variabel pada 850 nm.



**Gambar 8** Grafik BER OOK-NRZ Perubahan Dua Variabel pada 1310 nm.



**Gambar 9** Grafik BER OOK-NRZ Perubahan Dua Variabel pada 1550 nm.

Dapat terlihat dari Gambar 7-9, menunjukkan bahwa peningkatan daya pada kondisi *dense fog* di ketiga panjang gelombang untuk kanal *Kim* dan *Kruse* kualitas BER mencapai standar hanya mencapai jarak 1 km. Sedangkan untuk kondisi *light fog* dan *clear air* dengan ada nya peningkatan daya kirim di ketiga panjang gelombang untuk kanal *Kim* dan *Kruse* di dapatkan bahwa jarak *link* meningkat dengan kualitas BER standar.

Setelah dianalisa bahwa nilai BER terendah ada pada model kanal *Kim* kondisi *clear air* dengan daya 5 watt pada panjang gelombang 1550 nm yaitu jarak *link* mencapai 8,5 km. Hal ini terjadi karena kanal yang lebih spesifik dan pada kondisi *clear air* nilai redaman yang di dapat lebih rendah dibandingkan kondisi *dense fog* dan *light fog*. Sehingga redaman yang rendah performansi sistem komunikasi FSO semakin baik.

Pada pengujian ini menunjukkan bahwa, masih belum bisa untuk mendapatkan performansi minimal di jarak 10 km. Untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan standar performansi FSO maka harus menaikkan daya atau dan panjang gelombang yang lebih tinggi lagi.

## 5. Kesimpulan

Pada penelitian ini membahas kinerja FSO di kanal *Kim* dan *Kruse* menggunakan teknik modulasi 16-QAM, OOK-RZ, dan OOK-NRZ di sisi *transmitter*, dan APD *photodetector* sebagai *receiver*. Parameter yang diamati yaitu variasi panjang gelombang antara lain 850 nm, 1310 nm, dan 1550 nm. Pengamatan yang dilakukan menganalisa performansi terhadap perubahan jarak, perubahan daya kirim, dan perubahan *visibility* atau kondisi atmosfer.

Hasil BER tyang memenuhi standar ditunjukkan pada panjang gelombang 1550 nm dengan daya kirim 5 watt. Pada kanal *Kim* menggunakan teknik modulasi 16-QAM kondisi *dense fog* jarak maksimum dengan kualitas BER terbaik mencapai 1,5 km, kondisi *light fog* mencapai 3 km,

dan *clear air* 8 km. Sedangkan untuk kanal *Kruse* untuk *dense fog* mencapai 1 km, *light fog* 2,5 km, dan *clear air* yaitu 7,5 km.

Performasi menggunakan teknik modulasi OOK-NRZ pada kondisi *dense fog* di kedua kanal yaitu mencapai 1 km, *light fog* untuk kanal *Kim* yaitu 3 km dan 8,5 pada kondisi *clear air*. Sedangkan pada kanal *Kruse* *light fog* 2,5 km, dan *clear air* 8 km. Untuk teknik modulasi OOK-RZ menunjukkan bahwa pada kondisi *dense fog* jarak yang mampu dicapai dengan BER terbaik 1,5 km di kedua kanal. Kondisi *light fog* yaitu 3,5 km kanal *Kim* dan 3 km kanal *Kruse*. Sedangkan kondisi *clear air* untuk kanal *Kim* mencapai 10 km dan kanal *Kruse* mencapai 9,5 km.

Selanjutnya, hasil dari perbandingan menunjukkan bahwa OOK-RZ memiliki kinerja lebih baik dari 16-QAM dan OOK-RZ sehingga OOK-RZ dapat menempuh *link* lebih jauh. Perhitungan menunjukkan kanal *Kim* dan *Kruse* dapat bekerja pada *link* yang jauh. Namun, kanal *Kim* memiliki performa lebih baik dari kanal *Kruse*.

#### Daftar Pustaka:

- [1] O. Widyarena , G. Hendratoro and A. Maulidiyanto, "Kinerja Sistem Komunikasi FSO (Free Space Optic) Menggunakan Cell-site Diversity di Daerah Tropis," *Jurnal Teknik ITS* , vol. Vol.1, September 2012.
- [2] N. and D. S. Kumar, "Free Space Optical Communication : A Review," *International Journal of Electronics, Electrical and Computational System (IJECS)*, vol. Voume 5, no. Issue 9, September 2016.
- [3] Z. Ghassemlooy, W. Popoola and S. Rajbhandar, *Optical Wireless Communications*, Taylor & Francis Group, LLC, 2013.
- [4] R. Miglani , D. J. . S. Malhotra and G. S. Gaba, "Performance analysis of M-ary QAM modulated FSO link over tubulent AWGN channel," *International Journal of Applied Engineering Research*, Vols. Volume 10, Number 15, 2015 .
- [5] A. Jain , "Demonstration of RZ-OOK Modultion Scheme for High Speed Optical Data Trasnmission," *IEEE*, September 2014.
- [6] G. Keiser, *Optical Fiber Communication 2nd Edition*, McGraw-Hill, Inc, 1991.
- [7] P. Sood, A. Sharma and C. , "Analysis of FSO System and its Challenges - A Review," *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)*, vol. Volume 179 – No.52, June 2018.