

ANALISIS PERFORMA MODULASI PPM PADA FSO DENGAN KANAL KIM DAN KRUSE MODEL PADA JARAK 2KM

ANALYSIS OF PPM MODULATION PERFORMANCE ON KIM AND KRUSE CANAL MODEL IN FSO WITH 2 KM DISTANCE

Dio Audia Rachmat¹, Ir. Akhmad Hambali, MT. ², Kris Sujatmoko, S.T., M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung
¹diaudia@student.telkomuniversity.ac.id, ²ahmbali@telkomuniversity.ac.id, ³

krissujatmoko@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Teknologi komunikasi merupakan teknologi yang pertumbuhannya sangat cepat, termasuk juga dengan teknologi nirkabel. Pada kesempatan ini, teknologi *Free Space Optical* (FSO) yang sedang terus dikembangkan terutama untuk memenuhi kebutuhan masyarakat dan khususnya mahasiswa, teknologi FSO dipilih karena memiliki efisiensi yang lebih baik dari teknologi nirkabel sebelumnya serta biaya yang diperlukan dihitung lebih terjangkau.

Hasil yang didapat kemudian dibandingkan dengan hasil dari modulasi OOK-RZ dan OOK-NRZ menggunakan parameter kanal yang serupa yakni *Kim* dan *Kruse* model. Nilai BER menggunakan modulasi PPM lebih baik dengan nilai $3,15 \times 10^{-173}$ pada kanal *Kim* dan $2,50 \times 10^{-129}$ pada kanal *Kruse* dengan panjang gelombang 1550 nm dibandingkan dengan menggunakan modulasi OOK-RZ dengan nilai BER $3,17 \times 10^{-22}$ pada kanal *Kim* dan $5,37 \times 10^{-17}$ pada kanal *Kruse* juga OOK-NRZ dengan nilai BER $8,10 \times 10^{-12}$ pada kanal *Kim* dan $3,17 \times 10^{-9}$ pada kanal *Kruse* dengan panjang gelombang 1550 nm lebih baik dari panjang gelombang 850 nm pada *visibility* 2 kilometer. Tujuan utama pengerjaan Tugas Akhir ini yakni untuk menyelesaikan masalah komunikasi khususnya FSO.

Kata Kunci : *Free Space Optical* (FSO), *Pulse Position Modulation* (PPM), *Kim* model, *Kruse* model, BER, On Off Keying (OOK).

Abstract

Communication technology is a very fast growth technology, including also with wireless technology. On this occasion, the technology of Free Space Optical (FSO) is being continuously developed mainly to meet the needs of the community and especially students, FSO technology is chosen because it has better efficiency than previous wireless technology And the cost of the required counting is more affordable.

The results were then compared to the results of modulation OOK-RZ and OOK-NRZ using similar channel parameters namely Kim and Kruse model. The value of using the PPM modulation is better with the 3.15×10^{-173} on the Kim and 2.50×10^{-129} on the Kruse channel at wavelength of 1550 nm. As opposed to using OOK-RZ modulation with an BER 3.17×10^{-22} channel on the Kim and 5.37×10^{-17} channels on the Kruse channel also OOK-NRZ The value BER 8.10×10^{-12} on the Kim Canal and 3.17×10^{-9} on the Kruse canal at a wavelength of 1550 nm is better than the wavelength of 850 nm on 2 kilometre visibility. The main objective of this final task is to solve the problem of communication especially FSO.

Keywords: *Free Space Optical* (FSO), *Pulse Position Modulation* (PPM), *Kim* model, *Kruse* model, BER, On Off Keying (OOK).

1. Pendahuluan

Free Space Optical atau komunikasi optis ruang bebas menggunakan teknologi komunikasi optis yang memanfaatkan propagasi cahaya dalam ruang bebas untuk secara nirkabel dengan mengirimkan data untuk berkomunikasi.

Pada awalnya teknologi ini digunakan untuk komunikasi antar satelit dan *earth to satellite*. Akibat perubahan fungsi dan tingginya kebutuhan manusia untuk berkomunikasi . teknologi ini menawarkan potensi yang sangat baik diantaranya, instalasi mudah (dibandingkan dengan instalasi fiber optik), data *rate* tinggi (dibandingkan dengan teknologi *microwave*), *bandwidth* besar, tingkat keamanan tinggi dan penggunaan

Pada Tugas Akhir ini penulis akan melakukan analisis performansi FSO menggunakan modulasi internal dengan format modulasi PPM (*Pulse Position Modulation*) pada nilai M= 2,4 dan 8 dengan panjang gelombang 850 nm dan 1550 nm pada kondisi kanal *Kruse* dan *Kim* Model untuk mengetahui nilai BER untuk kemudian dibandingkan dengan format modulasi OOK line coding NRZ dan RZ menggunakan panjang gelombang serta kanal yang sama. Untuk mengetahui performa daya keluaran dan BER pada teknologi FSO.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 FSO

Free Space Optic (FSO) adalah komunikasi *Line Of Sight* (LOS) terjadi di alam terbuka menggunakan laser sebagai sumber cahayanya untuk mengirimkan data pada kecepatan mencapai 40 Gbps. FSO menggunakan frekuensi optik sebesar 192 – 350 THz sebagai sinyal pembawa (*Carrier*) sehingga memungkinkan menggunakan data rate yang tinggi [2].

Berbeda dengan komunikasi optik lainnya, FSO tidak membutuhkan kabel optik sehingga mudah untuk melakukan *maintenance* dan pencarian jika terjadi kerusakan. Panjang gelombang yang digunakan pada FSO terdapat pada jarak antara 700 nm hingga 1600 nm.

2.1.1 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 [1].

Prinsip kerja laser adalah pemantulan cahaya didalam perangkatnya dan disalah satu ujungnya terdapat hampir 100% pantulan sehingga ada cahaya yang terpantul keluar namun kecil. Karena itu mengapa cahaya dari LASER dapat terfokus dan pancarannya sempit. Panjang gelombang pada LASER yaitu 0.1 nm hingga 5 nm [1].

2.1.2 Fotodetektor PIN

Fotodetektor PIN memiliki 3 bagian yaitu bahan semikonduktor tipe p, semikonduktor tipe n, dan daerah intrinsik n-doped. Daerah n-doped ini berada diantara bagian semikonduktor tipe n dan tipe p. Fotodetektor PIN bekerja pada bit rate yang tinggi yaitu 100 Gbps [5].

Fotodetektor PIN bekerja dengan memanfaatkan *reverse bias* atau arus mundur. Agar foton yang masuk bisa dikonversi menjadi energi listrik, energi foton harus kurang dari energi *band gap* dari material semikonduktor. Awalnya foton masuk ke daerah intrinsik yang memiliki tingkat elektrik tinggi. Setelah masuk, foton terbagi menjadi elektron dan hole [5].

Tiap material semikonduktor dari fotodetektor memiliki panjang gelombang yang bisa digunakan. Panjang gelombang cut-off λ_c , dalam micrometer (μm) memiliki persamaan sebagai berikut [5].

$$\lambda_c(\mu m) = \frac{hc}{E_g} = \frac{1.24}{E_g} \quad (2.3)$$

2.2 Kanal Indor

Kanal atmosfer memiliki lingkungan yang sangat kompleks sehingga dapat mempengaruhi karakteristik dari pancaran propagasi optik yang menyebabkan adanya redaman, amplitud yang diinduksi turbulensi, dan fluktuasi fasa. Ada beberapa model untuk mengkarakterisasi sifat kanal atmosfer yang dibahas dibagian ini. [9]

2.2.1 Visibility

Pada dasarnya, partikel kabut mengurangi *visibility* di dekat tanah atau daratan. Definisi kabut adalah ketika *visibility* turun mendekati 1 km. Berbagai tipe kabut dalam berbagai tingkatan *loss* optik disebabkan oleh distribusi partikel kabut. Radiasi kabut dihasilkan ketika pendinginan tanah oleh radiasi,

Salah satu parameter yang bisa digunakan untuk mengukur besarnya redaman di atmosfer adalah *visibility*. *Visibility* adalah jarak pandang atau ukuran jarak dimana suatu benda atau cahaya bisa terlihat dengan jelas. Terdapat dua model kanal yang dapat menghitung besar redaman atmosfer menggunakan *visibility* yaitu kanal model *Kim* dan model *Kruse*.

Model *Kruse* dan *Kim* adalah model kanal yang digunakan untuk memperkirakan redaman optik tertentu dari data visibilitas. Persamaan dasar untuk menghitung besarnya redaman atmosfer adalah sebagai berikut [7]:

$$A = \frac{3.91}{V} \left(\frac{\lambda}{550} \right)^{-q}, \text{ dB/km} \quad (2.5)$$

Dimana V adalah *visibility* dalam km, λ adalah panjang gelombang dalam nm, q adalah ukuran partikel di atmosfer, dan A adalah redaman atmosfer dalam dB/km. Pendekatan model *Kruse* bisa digunakan untuk semua kondisi atmosfer. Persamaan untuk kanal model *Kruse* adalah [7].

$$\delta = \begin{cases} 1.6, & V \geq 50 \text{ km} \\ 1.3, & 6 \text{ km} \leq V < 50 \text{ km} \\ 0.585V^{1/3}, & V < 6 \text{ km} \end{cases} \quad (2.6)$$

Pada model *Kim* bisa digunakan untuk kondisi berembun atau *visibility* yang rendah karena lebih spesifik. Persamaan untuk kanal model *kim* adalah [7].

$$\delta = \begin{cases} 1.6, & V \geq 50 \text{ km} \\ 1.3, & 6 \text{ km} \leq V < 50 \text{ km} \\ 0.16V + 0.34, & 1 \text{ km} \leq V < 6 \text{ km} \\ V - 0.5, & 0.5 \text{ km} \leq V < 1 \text{ km} \\ 0, & V < 0.5 \text{ km}. \end{cases} \quad (2.7)$$

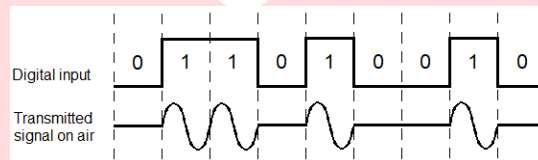
Lalu untuk mengetahui besarnya daya yang diterima bisa dilihat pada persamaan dibawah ini [5].

$$Pr = Pt\tau_t\tau_r \frac{D^2}{\theta^2 L^2} 10^{AL/10} \quad (2.8)$$

Dimana P_t adalah daya kirim, τ_t adalah efisiensi pengirim, τ_r adalah efisiensi penerima, D adalah diameter menerima, θ adalah sudut divergensi pengirim, L adalah jarak dari pengirim ke penerima, dan A adalah redaman atmosfer.

2.2.2 On-Off Keying

Format modulasi OOK merupakan modulasi yang umum digunakan dalam sistem komunikasi optik tanpa kabel dan digunakan dalam sistem *Intensity-Modulated with Direct-Detection (IM/DD)*. Ketika ada sinyal optik yang menempati sebagian durasi bit menghasilkan nilai bit 1, Sedangkan ketika tidak ada sinyal optik pada durasi tertentu nilai bit 0.

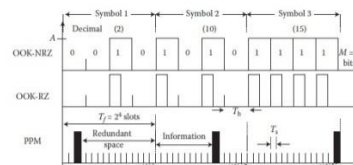


Gambar 1 Teknik modulasi OOK [5].

Pada modulasi OOK bisa menggunakan dua tipe, yaitu *Non Return-to-Zero (NRZ)* dan *Return-to-Zero (RZ)*. Pada tipe NRZ memiliki efisiensi yang lebih buruk dari RZ karena mempunyai durasi pulsa yang lebih besar dari bit. Pada NRZ bit 1 berarti memiliki level daya tinggi sedangkan bit 0 memiliki level daya rendah. Pada RZ, bit 1 dinyatakan dengan setengah periode pertama dengan level daya tinggi dan setengah periode kedua dengan level daya rendah. Sedangkan bit 0 memiliki level daya rendah [4].

2.2.3 Pulse Position Modulation

Pulse Position Modulation (PPM) adalah format modulasi pulsa dimana satu slot waktu dibagi menjadi dua pulsa satuan dan data sebesar M -bit dikodekan sebagai salah satu pulsa tersebut. Cara ini dapat menghemat penggunaan daya dibandingkan OOK [5].



Gambar 2 Teknik modulasi PPM [5].

Modulasi PPM (*Pulse Position Modulation*) sebenarnya merupakan teknik meningkatkan efisiensi daya dari OOK (*On-Off Keying*) tetapi dengan mengorbankan satu kebutuhan *bandwidth*, meningkatkan dan mengkompleksitasikan yang lebih besar dari pulsa kekuatan konstan menempati satu durasi slot dalam L

2.3 BER

Bit Error Rate (BER) adalah nilai yang menunjukkan besaran perbandingan dari bit yang error dengan bit yang dikirimkan dalam satu kali pengiriman di sistem transmisi. Standard nilai BER pada sistem komunikasi optik adalah 10^{-9} . Untuk mengetahui nilai BER pada modulasi OOK-NRZ bisa dilihat pada persamaan 2.15 [6], lalu untuk BER pada modulasi OOK-RZ pada persamaan 2.16 [6], dan BER pada PPM dilihat di persamaan 2.17 [6].

$$\text{BER OOK-NRZ} = 0.5 \cdot \text{erfc} \left(\frac{1}{2\sqrt{2}} \sqrt{\text{SNR}} \right) \quad (2.9)$$

$$\text{BER OOK-RZ} = 0.5 \cdot \text{erfc} \left(\frac{1}{2} \sqrt{\text{SNR}} \right) \quad (2.10)$$

$$\text{BER PPM2} = \frac{1}{2} \cdot \text{erfc} \left(\frac{\sqrt{\text{SNR}}}{2\sqrt{2}} \right) \quad (2.11)$$

$$\text{BER PPM4} = \frac{1}{2} \cdot \text{erfc} \left(\frac{\sqrt{\text{SNR}}}{\sqrt{2}} \right) \quad (2.12)$$

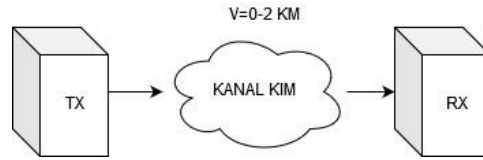
$$\text{BER PPM8} = \frac{1}{2} \cdot \text{erfc} \left(\frac{\sqrt{3}\sqrt{\text{SNR}}}{\sqrt{2}} \right) \quad (2.13)$$

3. Perancangan Sistem

3.1 Skenario Sistem

3.3.1 Skenario I

Skenario simulasi pertama adalah mensimulasikan sistem FSO menggunakan *Pulse Position Modulation (PPM)* dengan nilai $M=2,4$ dan 8 , menggunakan kanal model *Kim* dengan perubahan *visibility* dari 0 km sampai 2 km. Kemudian diketahui nilai BER terhadap *visibility* pada setiap 0.04 km. Setelah itu dicari nilai BER dari modulasi OOK-NRZ dan OOK-RZ agar dapat dianalisis mana yang lebih baik antara *Pulse Position Modulation (PPM)* dengan modulasi OOK-NRZ dan OOK-RZ. Tujuan skenario ini adalah untuk mengetahui hubungan *visibility* dengan nilai BER pada kanal *Kim*, bisa dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Skenario simulasi pada kanal Kim.

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui nilai BER dan bagaimana tahapan perhitungannya pada scenario ini. Pada perhitungan ini diambil pada kondisi *visibility* 1, dengan panjang gelombang 1550 nm.

1. Perhitungan redaman atmosfer yang ada pada kanal Kim [5]

$$\delta = \begin{cases} 1.6, & V \geq 50 \text{ km} \\ 1.3, & 6 \text{ km} \leq V < 50 \text{ km} \\ 0.16V + 0.34, & 1 \text{ km} \leq V < 6 \text{ km} \\ V - 0.5, & 0.5 \text{ km} \leq V < 1 \text{ km} \\ 0, & V < 0.5 \text{ km}. \end{cases}$$

Untuk nilai *visibility* 1, nilai δ atau ukuran partikelnya adalah 0.5. Lalu dicari untuk nilai A atau redaman atmosfer.

$$A = \frac{3.91}{V} \left(\frac{\lambda}{550} \right)^{-q} \tag{3.1}$$

2. Perhitungan daya di sisi receiver yang telah dipengaruhi redaman atmosfer.

$$Pr = Pt \tau_t \tau_r \frac{D^2}{\theta^2 L^2} 10^{AL/10} \tag{3.2}$$

3. Perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR) untuk OOK-NRZ dan OOK-RZ
Pertama harus mencari nilai arus yang diterima dahulu (I_p).

$$I_p = 4.822^{-6} \times 0.8 \tag{3.3}$$

Lalu kita hitung nilai SNR [9].

$$SNR = \frac{I_p^2}{2qB(I_p + I_D) + 4K_b T B F_n / R_L} \tag{3.4}$$

4. Perhitungan BER untuk OOK-NRZ dan OOK-RZ [6].

$$BER \text{ OOK-NRZ} = 0.5 \cdot \text{erfc} \left(\frac{1}{2\sqrt{2}} \sqrt{53.9036} \right) \tag{3.6}$$

$$BER \text{ OOK-RZ} = 0.5 \cdot \text{erfc} \left(\frac{1}{2} \sqrt{53.9036} \right)$$

5. Perhitungan BER untuk PPM M= 2,4 & 8 [6].

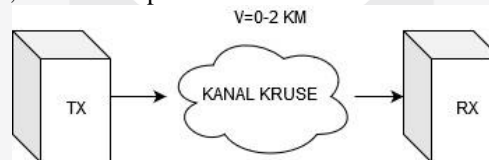
$$BER \text{ PPM2} = 0.5 \cdot \text{erfc} \left(\frac{\sqrt{53.9036}}{2\sqrt{2}} \right) \tag{3.7}$$

$$BER \text{ PPM4} = 0.5 \cdot \text{erfc} \left(\frac{\sqrt{53.9036}}{\sqrt{2}} \right) \tag{3.8}$$

$$BER \text{ PPM8} = 0.5 \cdot \text{erfc} \left(\frac{\sqrt{3}\sqrt{53.9036}}{2\sqrt{2}} \right) \tag{3.9}$$

3.3.2 Skenario II

Skenario simulasi kedua adalah mensimulasikan sistem FSO menggunakan *Pulse Position Modulation* (PPM) dengan nilai M yang sama dengan skenario sebelumnya yaitu I, namun digunakan pada kanal model Kruse dengan *visibility* yang sama pula. Kemudian didapatkan nilai BER-nya dan dibandingkan dengan nilai BER modulasi OOK-NRZ dan OOK-RZ, bisa dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Skenario Simulasi pada kanal Kruse.

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui nilai BER dan bagaimana tahapan perhitungannya pada scenario ini. Pada perhitungan ini diambil pada kondisi *visibility* 1, panjang gelombang 1550 nm di kanal Kruse.

1. Perhitungan redaman atmosfer yang ada pada kanal Kim

$$\delta = \begin{cases} 1.6, & V \geq 50 \text{ km} \\ 1.3, & 6 \text{ km} \leq V < 50 \text{ km} \\ 0.585V^{1/3}, & V < 6 \text{ km} \end{cases}$$

Untuk nilai *visibility* 1, nilai δ atau ukuran partikelnya adalah 0.5. Lalu dicari untuk nilai A atau redaman

atmosfer.

$$A = \frac{3,91}{V} \left(\frac{\lambda}{550} \right)^{-q} \quad (3.7)$$

Perhitungan daya di sisi *receiver* yang telah dipengaruhi redaman atmosfer.

$$Pr = Pt \tau_t \tau_r \frac{D^2}{\theta^2 L^2} 10^{AL/10} \quad (3.8)$$

2. Perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR) untuk OOK-NRZ dan OOK-RZ Pertama harus mencari nilai arus yang diterima dahulu (I_p).

$$I_p = PrR \quad (3.9)$$

Lalu kita hitung nilai SNR [9].

$$SNR = \frac{I_p^2}{2qB(I_p + I_D) + 4K_b T B F_n / R_L} \quad (3.10)$$

3. Perhitungan BER untuk OOK-NRZ dan OOK-RZ [6].

$$BER \text{ OOK-NRZ} = 0.5 \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{1}{2\sqrt{2}} \sqrt{24.1831} \right) \quad (3.6)$$

$$BER \text{ OOK-RZ} = 0.5 \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{1}{2} \sqrt{24.1831} \right)$$

4. Perhitungan BER untuk PPM M= 2,4 & 8 [7].

$$BER \text{ PPM2} = 0.5 \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{\sqrt{53.9036}}{2\sqrt{2}} \right) \quad (3.7)$$

$$BER \text{ PPM4} = 0.5 \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{\sqrt{53.9036}}{\sqrt{2}} \right) \quad (3.8)$$

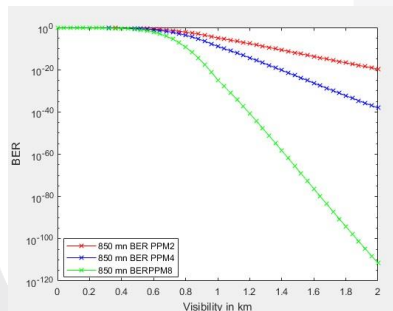
$$BER \text{ PPM8} = 0.5 \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{\sqrt{3\sqrt{53.9036}}}{2\sqrt{2}} \right) \quad (3.9)$$

3 Hasil Simulasi dan Analisis

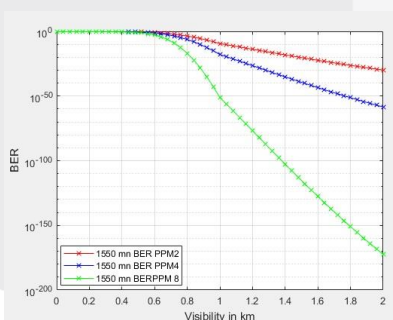
4.1 Pulse Position Modulation (PPM) pada Kanal KIM

Pengujian *Pulse Position Modulation* (PPM) pada kanal model *Kim* dengan menggunakan nilai M=2,4 dan 8 dan dua panjang gelombang 850 nm dan 1550 nm. Kemudian ada perubahan *visibility* dari 0 km sampai 2 km, dimana terdapat rentang tiap 0,04 km. Dengan tujuan agar mengetahui pengaruh perbedaan panjang gelombang serta *visibility* terhadap nilai *Bit Error Rate* (BER) yang diterima.

Bisa dilihat pada Gambar 5, nilai BER PPM dengan panjang gelombang 850 nm pada nilai M=2 adalah berkisar $2,187 \times 10^{-20}$, M=4 adalah berkisar $7,919 \times 10^{-39}$ dan M=8 adalah berkisar $3,084 \times 10^{-112}$. Pada Gambar 6 panjang gelombang 1550 nm pada nilai M=2 adalah berkisar $1,249 \times 10^{-30}$, M=4 adalah berkisar $3,201 \times 10^{-59}$ dan M=8 adalah berkisar $3,150 \times 10^{-173}$. Nilai BER terendah atau paling baik yaitu ada pada panjang gelombang 1550 nm dengan nilai M=8. Untuk pengaruh dari *visibility* terhadap BER bisa terlihat, bahwa ketika *visibility* ada pada saat 0,72 km, BER telah memenuhi *standard* yakni 10^{-9}



Gambar 5 Grafik BER PPM 850 nm pada Kanal Kim.



Gambar 6 Grafik BER PPM 1550 nm pada kanal Kim.

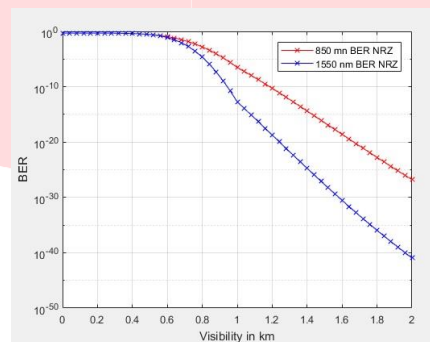
Nilai BER PPM M=8 pada *visibility* terjauh di panjang gelombang 1550 nm menjadi modulasi terideal

dibandingkan dengan PPM M=2 dan M=4 karena memiliki nilai BER yang baik serta memiliki jarak visibility terpendek untuk mencapai batas Standard sistem komunikasi Free Space Optic yakni 0,72 km.

4.2 Modulasi OOK-NRZ dan OOK-RZ pada Kanal KIM

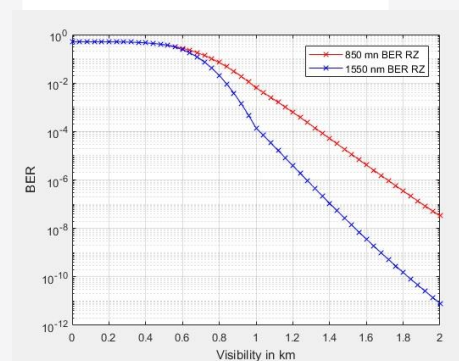
Pada pengujian ini menggunakan parameter yang sama dengan pengujian pertama yaitu dengan nilai M=1, dan dua panjang gelombang 850 nm dan 1550 nm dengan perubahan visibility dari 0 km sampai 2 km, dimana terdapat rentang tiap 0,04 km. Tujuan dari pengujian ini adalah agar bisa mengetahui nilai BER dari modulasi OOK-NRZ dan OOK-RZ, kemudian dibandingkan dengan nilai BER menggunakan PPM.

Dapat dilihat pada Gambar 7, dimana merupakan hasil simulasi untuk modulasi OOK-NRZ pada kanal model *Kim*. Nilai BER di visibility terjauh yaitu 2 km pada panjang gelombang 850 nm adalah berkisar $3,282 \times 10^{-8}$, panjang gelombang 1550 nm adalah berkisar $8,101 \times 10^{-12}$, dimana BER paling baik ada di panjang gelombang 1550 nm yakni $8,101 \times 10^{-12}$. Untuk hubungan visibility terhadap nilai BER mulai memenuhi *standard* (10^{-9}) dari 1,56 km.



Gambar 7 Grafik BER OOK-NRZ pada Kanal *Kim*

Dapat dilihat pada Gambar 8. Nilai BER OOK RZ pada visibility terjauh di panjang gelombang 850 nm adalah berkisar $5,904 \times 10^{-15}$, panjang gelombang 1550 nm adalah berkisar $3,170 \times 10^{-22}$, dimana BER terbaik atau terendah ada di panjang gelombang 1550 nm., Pada modulasi ini BER RZ telah memenuhi *standard* (10^{-9}) pada visibility 1,08 km. Untuk nilai BER OOK-RZ

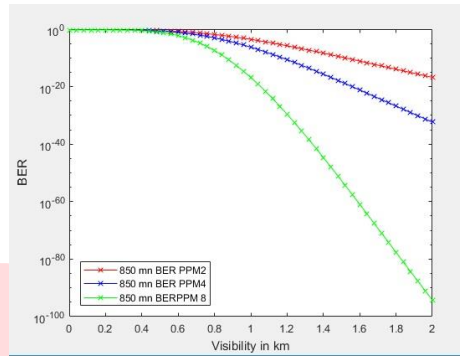


Gambar 8 Grafik BER OOK-RZ pada Kanal *Kim*

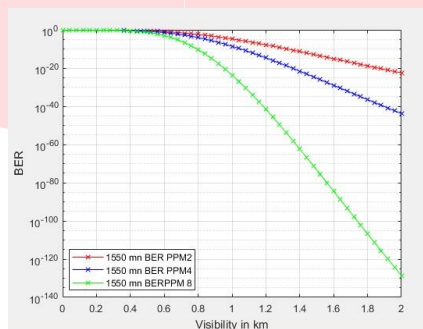
Nilai BER OOK-RZ pada visibility terjauh di panjang gelombang 1550 nm menjadi modulasi terideal dibandingkan dengan OOK-NRZ karena memiliki nilai BER yang baik serta memiliki jarak visibility terpendek untuk mencapai batas *Standard* sistem komunikasi *Free Space Optic* yakni 1.08 km.

4.3 Pulse Position Modulation pada Kanal Kruse

Pada pengujian ini menggunakan parameter yang sama dengan parameter pengujian pada kanal *Kim* menggunakan nilai M=2,4 dan 8 dengan perbedaan dua panjang gelombang 850 nm dan 1550 nm serta variasi visibility, namun hanya berbeda pada kanal yang digunakan yaitu kanal *Kruse*. Pengujian ini bertujuan agar mengetahui pengaruh kanal terhadap nilai *Bit Error Rate* (BER).



Gambar 9 Grafik BER PPM 850 nm pada Kanal Kruse



Gambar 10 Grafik BER PPM 1550 nm pada Kanal Kruse

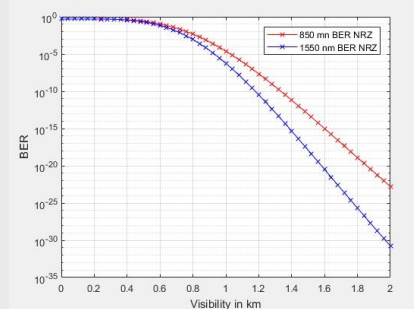
Dapat dilihat pada Gambar 10, dimana merupakan hasil pengujian untuk nilai BER *Pulse Position Modulation* (PPM) pada kanal *Kruse*. Nilai BER pada *visibility* terjauh pada panjang gelombang 850 nm dengan nilai $M=2$ adalah berkisar $1,747 \times 10^{-17}$, $M=4$ adalah berkisar $4,653 \times 10^{-33}$ dan $M=8$ adalah berkisar $5,290 \times 10^{-95}$ dan pada Gambar 10 *visibility* terjauh pada panjang gelombang 1550 nm dengan nilai $M=2$ adalah berkisar $8,925 \times 10^{-23}$, $M=4$ adalah berkisar $1,518 \times 10^{-44}$ dan $M=8$ adalah berkisar $2,507 \times 10^{-129}$.

Nilai BER paling baik yaitu ada pada panjang gelombang 1550 nm dengan nilai $M=8$. Untuk pengaruh dari *visibility* terhadap BER bisa terlihat, bahwa ketika *visibility* ada pada saat 0.76 km, BER telah memenuhi *standard* yakni 10^{-9}

4.4 Modulasi OOK-NRZ dan OOK-RZ pada Kanal Kruse

Pada pengujian ini menggunakan parameter yang sama dengan pengujian kedua dan ketiga. Yakni nilai $M=1$ dan dua panjang gelombang 850 nm dan 1550 nm dengan perubahan *visibility* dari 0 km sampai 2 km, dimana terdapat rentang tiap 0,04 km. Tujuan pengujian ini adalah untuk bisa membandingkan nilai BER pada PPM dengan BER pada modulasi OOK-NRZ dan OOK-RZ, sehingga dapat diketahui performa mana yang lebih baik dari ketiganya.

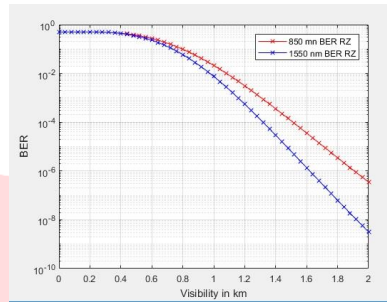
Pertama yang diuji adalah BER dengan modulasi OOK-NRZ pada Kanal model *Kim*, dapat dilihat pada Gambar 11. Nilai BER pada *visibility* terjauh di panjang gelombang 850 nm adalah berkisar $3,499 \times 10^{-7}$, panjang gelombang 1550 nm adalah berkisar $3,173 \times 10^{-9}$, dimana nilai BER paling baik ada di panjang gelombang 1550 nm yakni $3,173 \times 10^{-9}$ BER telah memenuhi *standard* (10^{-9}) saat *visibility* di 1,96 km.



Gambar 11 Grafik BER OOK-NRZ pada Kanal Kruse

Kemudian ada hasil pengujian dari modulasi OOK-RZ pada Kanal *Kruse*, dapat dilihat pada Gambar 12. Nilai BER di *visibility* terjauh pada panjang gelombang 850 nm adalah berkisar $6,818 \times 10^{-13}$, dan pada panjang

gelombang 1550 nm adalah berkisar $5,374 \times 10^{-17}$. Pada panjang gelombang 1550 nm memiliki nilai BER paling baik dari panjang gelombang yang lain. Pada panjang gelombang 1550 nm, BER memenuhi *standard* minimal BER yakni 10^{-9} pada *Visibility* 1,4 km.



Gambar 12 Grafik BER OOK-RZ pada Kanal Kruse

Dari perbandingan antara modulasi PPM, OOK-NRZ dan OOK-RZ, nilai BER pada modulasi PPM jauh lebih baik dari nilai BER modulasi lainnya pada kanal *Kim*. Kemudian untuk perbandingan antara kanal *Kim* dengan kanal *Kruse*, Nilai BER pada kanal *Kim* memiliki nilai yang lebih baik dari kanal *Kruse*.

5 Kesimpulan

Dari simulasi dan analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian penggunaan dua panjang gelombang 850 nm dan 1550 nm menunjukkan bahwa panjang gelombang 1550 nm merupakan panjang gelombang yang baik dan cocok digunakan pada komunikasi *Free Space Optic* karena memiliki BER yang paling baik.
2. Skema Modulasi *Pulse Position Modulation* (PPM) lebih baik dibandingkan modulasi *On-Off Keying – Non Return to Zero* (OOK-NRZ) dan *On-Off Keying – Return to Zero* (OOK-RZ) karena memiliki nilai BER yang jauh lebih baik
3. Modulasi PPM dengan nilai $M=8$ memiliki nilai BER yang lebih baik dari $M=2$ dan $M=4$, sedangkan untuk modulasi OOK-RZ memiliki nilai BER yang lebih baik dari OOK-NRZ
4. Pengujian pada kanal model *KIM* lebih baik dari kanal model *KRUSE*
5. Pada kanal model *KIM* nilai BER memenuhi *standard* minimum yakni 10^{-9} saat *visibility* pada rata-rata 1,03 km, sedangkan untuk kanal model *KRUSE* nilai BER nilai BER memenuhi *standard* minimum yakni 10^{-9} saat *visibility* rata-rata 1,27 km. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kanal model *KRUSE* membutuhkan *visibility* yang besar atau atmosfer yang *clear* agar memiliki nilai BER yang baik.

Daftar Pustaka

- [1] R. Karthikeyan and S. Prakasam, "A Survey on Radio over Fiber (RoF) for Wireless Broadband Access Technologies," *International Journal of Computer Application (0975-8887) Volume 64-No12*, p. 6, 2013.
- [2] A. A. B. Raj, *Free Space Optical Communication: System Design, Modeling, Characterization and Dealing With Turbulance*, Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2016.
- [3] Hindawi Publishing Corporation, "Free Space Optics: Current Applications and Future Challenges," *International Journal of Optics*, p. 8, 2015.
- [4] H. Kaushal and G. Kaddoum, "Free Space Optical Communication: Challenges and Mitigation Techniques," p. 28, 2016.
- [5] W. Popoola, Z. Ghassemlooy and S. Rajbhandari, *Optical Wireless Communications*, Taylor & Francis Group, LLC, 2013.
- [6] T. Y. Elganimi, "Performance Comparison between OOK, PPM and PAM Modulation Schemes for Free Space Optical (FSO) Communication Systems" *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 79*, October 2013.
- [7] M. A. Esmail, H. Fathallah, and M. S. Alouini, "Outdoor FSO Communications under Fog: Attenuation Modeling and Performance Evaluation," *IEEE Photonics J.*, vol. 8, no. 4, 2016.
- [8] M. Ali A, "Comparison of NRZ, RZ-OOK Modulation Formats for FSO Communications under Fog Weather Condition ", *International Journal of Computer Applications AL-Mustansiriyah University*, vol.108, no 2, Des 2014.
- [9] S. Ghoname, H. A. Fayed, A. A. El Aziz, and M.H. Aly, "Performance analysis of fso communication system: Effect of fog, rain, and humidity", in *2016 Sixth International Conference on Digital Information Processing and Communication (ICDIPC)*, pp.151-155, IEEE, 2016