

**PENGARUH RANDOM ORIENTATION TERHADAP PULSE POSITION  
MODULATION (PPM) PADA PEFORMA SISTEM VISIBLE LIGHT  
COMMUNICATION (VLC)**

**THE EFFECT OF RANDOM ORIENTATION ON PULSE POSITION  
MODULATION (PPM) ON VISIBLE LIGHT COMMUNICATION  
(VLC) SYSTEM PERFORMANCE**

Muh Farhan Pratama R<sup>1</sup>, Kris Sujatmoko<sup>2</sup>, Brian Pamukti<sup>3</sup>

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

[farhanpratama@student.telkomuniversitygmail.ac.id](mailto:farhanpratama@student.telkomuniversitygmail.ac.id)

[krissujatmoko@telkomuniversity.ac.id](mailto:krissujatmoko@telkomuniversity.ac.id) [brianp@telkomuniversity.ac.id](mailto:brianp@telkomuniversity.ac.id)

**Abstrak**

*Visible Light Communication (VLC)* merupakan teknologi yang sedang berkembang di era yang sedang maju saat ini. Perkembangan VLC tidak lepas dari pengaruh sistem komunikasi optik, yang dimana sebagai penggagas teknologi menggunakan cahaya dalam pengiriman informasi serta kecepatan mengirim informasi pada jaringan nirkabel yang lebih cepat.

Penelitian ini telah melakukan analisis pada sistem VLC terhadap *Random Orientation* ke sudut penerima atau sisi *receiver* sebesar 0°, 25° dan 45° pada ruangan tertutup. Modulasi yang digunakan yaitu *Pulse Position Modulation (PPM)* sebagai pembawa data informasi dan frekuensi pada bit yang menjadi inputan pada arus masuk sebelum ditransmisikan. Informasi yang telah di proses dikumpul melalui *Light Emitting Diode (LED)* dan diteruskan ke *User Equipment (UE)*.

Hasil dari penelitian Tugas Akhir ini, nilai daya terima pada sudut orientasi 0° terbesar pada jarak 2,15 m dengan daya terima  $1,081 \times 10^{-1}$  Watt dan pada terkecil pada jarak 5 m dengan daya terima  $2,109 \times 10^{-3}$  Watt. Sudut orientasi 25° terbesar pada jarak 2,15 m dengan daya terima  $9,928 \times 10^{-2}$  Watt dan pada terkecil pada jarak 5 m dengan daya terima  $2,039 \times 10^{-3}$  Watt. Sudut orientasi 45° terbesar pada jarak 2,15 m dengan daya terima  $6,261 \times 10^{-1}$  Watt dan pada terkecil pada jarak 5 m dengan daya terima  $1,285 \times 10^{-3}$  Watt.

**Kata Kunci :** *VLC, PPM, UE, LED, BER, Random Orientation.*

**Abstract**

*Visible Light Communication (VLC)* is a technology that is currently developing in an advanced era. The development of VLC cannot be separated from the influence of the optical communication system, which as the initiator of technology uses light to transmit information and the speed of sending information on a wireless network is faster.

Currently, the authors are analyzing the VLC system for *Random Orientation* to the receiver corner or the *receiver* side of 0°, 25° dan 45° in a closed room. The modulation used is *Pulse Position Modulation (PPM)* as a carrier of information data and the frequency of the bits that are inputted to the inrush before being transmitted. Information that has been processed is collected through *Light Emitting Diode (LED)* and forwarded to *User Equipment (EU)*.

The results of this final project research, the value of the received power at an orientation angle of 0° the largest at a distance of 2.15 m with a receiving power of  $1,081 \times 10^{-1}$  Watt and at the smallest at a distance of 5 m with a receiving power of

$2,109 \times 10^{-3}$  Watt. The orientation angle is  $25^\circ$  biggest at a distance of 2.15 m with a receiving power of  $9,928 \times 10^{-2}$  Watt and at the smallest at a distance of 5 m with a receiving power of  $2,039 \times 10^{-3}$  Watt. The orientation angle is  $45^\circ$  biggest at a distance of 2.15 m with a receiving power of  $6,261 \times 10^{-1}$  Watt and at the smallest at a distance of 5 m with a receiving power of  $1,285 \times 10^{-3}$  Watt.

**Keywords:** VLC, PPM, UE, LED, BER, Random Orientation.

## 1. Pendahuluan

Perkembangan era yang sangat maju akan sejalan dengan teknologi yang semakin pesat. Teknologi menjadi sebuah inovasi dalam membantu dan memudahkan berbagai permasalahan dan pekerjaan manusia sehari-hari. Dalam bidang telekomunikasi terdapat sebuah teknologi yang masih dikembangkan saat ini yaitu *Visible Light Communication* (VLC). VLC atau komunikasi cahaya tampak merupakan media pengirim informasi. VLC merupakan media komunikasi menggunakan cahaya tampak dengan spektrum 400 THz (375 nm) sampai 800 THz (780 nm) [1]. Sistem ini memiliki transmitter yang berfungsi mengirim informasi serta receiver untuk menerima data yang dikirim [1]. Teknologi VLC sangat menjanjikan dengan kemampuan untuk memanfaatkan luas spektrum pada jaringan nirkabel dengan kecepatan dalam pengiriman yang lebih cepat.

Penelitian Sebelumnya [2], dengan propagasi melalui saluran VLC sangat terarah dan bergantung pada ketersediaan link *Line Of Sight* (LOS) untuk menghindari kendala *Field of View* (FOV) serta memperluas cakupan arah terhadap *receiver*. Penelitian selanjutnya [3], dengan menyelidiki pemakaian metode *Non-Orthogonal Multiple Acces* (NOMA) di dalam VLC untuk menyelidiki *downlink* multiuser terhadap *user mobile* dengan orientasi vertikal yang acak. Selanjutnya [4] dalam memengaruhi orientasi acak pada *signal-to-noise ratio* (SNR) kinerja sistem *Optical Wireless Communication* (OWC) telah dievaluasi. Akhirnya, model mobilitas *orientation* berdasarkan *waypoint* acak (ORWP) diusulkan dengan mempertimbangkan orientasi acak dari *User Equipment* (UE) selama gerakan pengguna.

Pada penelitian yang sudah membahas dan melakukan penelitian tentang pemanfaatan VLC dominan menggunakan *Light Emitting Diode* (LED) selain sebagai penerangan dan sebagai sarana pengiriman. Jurnal ini akan menyelidiki pengaruh orientasi acak pada penerima atau user mobile untuk meninjau nilai besar daya yang diterima, sudut dan jarak maksimal dari LED serta mendapatkan nilai *Bit Error Rate* (BER) melalui kanal LOS. Analisis pada penelitian ini menggunakan *PIN photodetector* dan dilakukan di ruangan tertutup. Pada Jurnal ini akan berfokus dengan pemanfaatan system VLC dan Random Orientation di dalam ruangan tertutup akan memperhatikan alur pengiriman informasi dari melalui media LED (*transmitter*) ke UE (*receiver*). Dengan memanfaatkan modulasi jenis PPM terhadap sudut dari device sebesar  $0^\circ$ ,  $25^\circ$  dan  $45^\circ$  terhadap proses VLC. Gambar 1 menunjukkan bagaimana scenario dilakukan terhadap sudut orientasi penerima di dalam ruangan 5x5x3 meter.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Visible Light Communication

VLC merupakan teknologi dari *Optical Wireless Communication* (OWC) yang memanfaatkan LED sebagai pencahayaan dan komunikasi data serta memanfaatkan kinerja *bandwidth*. VLC menyediakan *bandwidth frequency* sekitar 400-800 THz dengan panjang gelombang antara 380-780 nm.

### 2.2 LED

LED adalah sebuah perangkat semikonduktor yang dapat memancarkan cahaya dengan cara mengubah energi listrik menjadi energi cahaya. LED juga memiliki kelebihan yaitu ukuran yang kecil, awet, tahan lama, cahaya yang lebih fokus, sistem *switch on* dan *off* serta menghasilkan panas lebih sedikit akibat konversi yang efisien pada frekuensi tinggi. Sehingga sangat cocok dengan kriteria yang dibutuhkan sistem OWC pada komunikasi VLC atau cahaya tampak [8]. Untuk sistem komunikasi optik, sumber cahaya yang diadopsi harus memiliki panjang gelombang yang sesuai, *linewidth*, *numerical aperture*, cahaya yang tinggi dengan area permukaan

kecil, umur panjang, kehandalan tinggi dan bandwidth modulasi tinggi [2].

## 2.2. Kanal Cahaya *Line of Sight* (LOS)

VLC memiliki 2 jenis kanal yaitu LoS dan NLoS. LoS adalah sebuah kanal yang dimana dapat membuat tidak ada atau minimnya *obstacle* serta memiliki tingkat kesalahan bit yang sangat rendah. Kehandalan dari saluran VLC sangat tergantung pada ketersediaan dna penyalarsan Los link dan ruangan tertutup sebagai salah satu factor berpengaruh. Kanal LoS juga memiliki daya tahan dalam meredam noise dari sumber cahaya dan sekitarnya. Ketersediaan LoS juga sangatlah berpengaruh dalam menentukan lajur kecepatan yang diinginkan. Parameter Lambertian atau ( $m$ ) yang digunakan pada semi angle setengah daya FWHM sebagai berikut.

$$m = \frac{-\log_{10}(2)}{\log_{10}(\cos(\theta^\circ))} \quad (1)$$

dimana  $\theta$  merupakan FWHM dengan nilai sebesar  $60^\circ$  di kanal LoS.

$$H = \frac{(m+1).A.\cos^{m+1}\phi}{2.\mu.d^2} \quad (2)$$

dimana A merupakan area dari *photodetector* di *receiver*, d merupakan jarak dari *transmitter* ke *receiver* sehingga nilai daya terima dapat disimpulkan sebagai berikut

$$Prx = P_{tot}.H.G_{con} \quad (3)$$

## 2.3. Jarak LED dan *receiver*

Jarak sangatlah berpengaruh di dalam system VLC, dan ketika jarak antara *receiver* dan *transmitter* sudah sangat jauh tentu akan mempengaruhi kualitas pengiriman informasi apalagi cahaya sebagai media pembawa informasi akan sedikit ditangkap oleh *photodetector* dalam kinerjanya. Maka dari itu jarak dimasukkan di parameter yang sangat penting ke dalam paper terkait simulasi VLC. Adapun rumus dalam mengetahui jaraak dari *receiver* ke *transmitter* sebagai berikut.

$$d = \sqrt{(Xr - Xt)^2 + (Yr - Yt)^2 + (Zr - Zt)^2 + h^2} \quad (4)$$

dimana h merupakan tinggi antara lampu dan *photodetector* di posisi awal x. Xt dan Xr merupakan koordinat *transmitter* dan *receiver* pada sumbu x serta Yt dan Yr merupakan koordinat *transmitter* dan *receiver* pada sumbu y. Sedangkan asumsi rumus sudut perpindahan sebagai berikut.

$$\phi = \arccos\left(\frac{d}{h}\right) \quad (5)$$

## 2.4. *Pulse Position Modulation*

Modulasi merupakan pembawa data informasi dan frekuensi, dimana memiliki parameter yang dibutuhkan seperti *throughput* kapasitas dan kualitas sinyal yang akan diterima. Jenis modulasi yang digunakan yaitu *Pulse Position Modulation* (PPM) merupakan salah satu jenis dari *pulse modulation*.

PPM adalah teknik modulasi orthogonal yang dapat meningkatkan efisiensi daya *On Off Keying* OOK. PPM juga memiliki daya efisien yang jauh lebih baik pada berbagai aplikasi, akan tetapi pada kebutuhan bandwidth dibatasi penggunaannya. Untuk mencapai *throughput* yang sama dengan OOK, PPM harus memiliki durasi slot terhadap waktu  $T_{PPM}$  yang lebih pendek dari pada durasi yang dimiliki OOK  $T_b$  pada factor L/M. Dimana L-PPM merupakan pulsa daya yang konstan dan mempati satu durasi slot pada  $L = 2M$ , dimana resolusi bit  $M > 0$  merupakan bilangan bulat dan kemungkinan slot waktu dengan slot yang tersisa masih kosong.

$$T_{s\_PPM} = \frac{T_b M}{L} \quad (6)$$

dimana L merupakan pulsa dan  $T_b$  merupakan durasi slot yang lebih kecil dari OOK.

$$L = 2^m \quad (7)$$

Dimana m merupakan resolusi bit dengan bilangan bulat yang memiliki kelipatan 2, sehingga M-ary

yang akan mengatur pengiriman jumlah bit dalam satu atau secara bersamaan. Pada jurnal ini digunakan modulasi PPM dengan jenis 2-PPM, 4-PPM dan 8-PPM.

### 2.5. P-I-N Photodetector

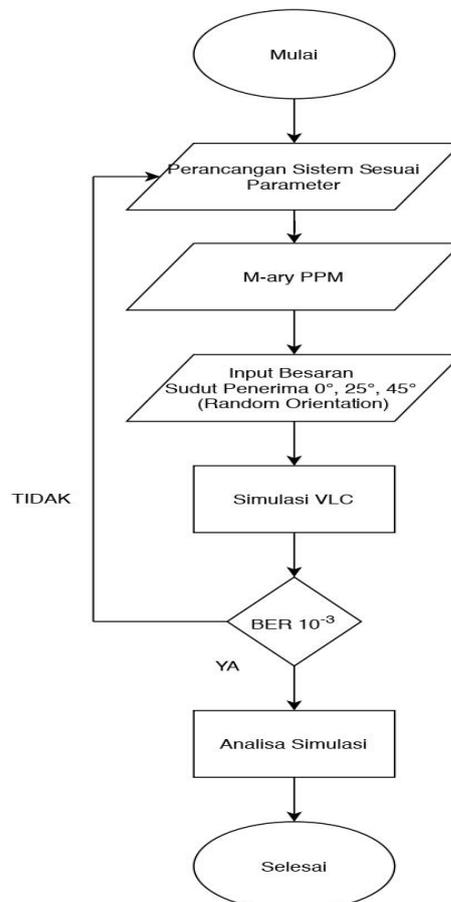
Fotodiode merupakan jenis dioda dengan resistansi yang berubah apabila terkena cahaya yang dikirim melewati sebuah pemancar. Semakin besar cahaya yang diterima oleh fotodiode mengakibatkan resistansi semakin kecil dan semakin kecil cahaya yang diterima maka mengakibatkan nilai resistansinya untuk sensor photodiode semakin kecil[9]. Photodiode terdiri dari dua jenis, yaitu P-I-N Photodiode dan Avalanche Photodiode (APD). PIN photodiode umumnya tersusun dari p-n junction dan dibedakan berdasarkan daerah instrinsik. Dalam sistem VLC, dengan bahan penyusun jenis silicon dapat diimplementasikan karena memiliki jangkauan panjang gelombang yang sesuai syarat yaitu 400 nm-1060 nm

### 2.6 Device Orientation

Pengaruh orientasi perangkat yang digunakan pada posisi pada sensor accelerometer dengan teknik positioning. Pada sistem VLC masih dipertimbangkan teknik downlink untuk sudut yang miring pada ruangan uplink. Hal ini menunjukkan, sudut miring dapat mempengaruhi kesalahan posisi secara signifikan. Oleh karena itu dalam analisis positioning masih dipertimbangkan. Menurut **Euler** tentang teorema rotasi pada ruang dapat dicapai dengan menyusun tiga unsur rotasi sekitar sumbu sistem koordinat dan terdapat dua jenis rotasi yaitu rotasi intrinsik sesuai dengan rotasi koordinat perangkat sistem dan rotasi ekstrinsik yang sesuai dengan rotasi tentang rotasi koordinat bumi. Pada dunia wide web (W3C) memilih perintah rotasi intrinsik sebagai standar untuk perangkat orientasi dengan (x, y, z) yang memiliki sistem perangkat koordinat[7]

## 3. Perancangan dan Simulasi Sistem

### 3.1. Diagram Alir Sistem



Gambar 1. Diagram alir sistem.

Pada simulasi VLC ini menggunakan modulasi PPM berdasarkan level 2-PPM, 4-PPM dan 8-PPM, dengan jumlah 1 buah LED, Penambahan orientasi sudut sebesar  $0^\circ$  sebagai parameter. Dalam simulasi yang kedua terdapat dua parameter yang akan dicoba yaitu, orientasi sudut penerima dengan nilai  $25^\circ$  dan  $45^\circ$  kemudian dijalankan.

### 3.2. Desain Pengujian VLC

Pada simulasi sistem Tugas Akhir ini, memfokuskan pada spesifikasi PPM, kanal transmisi, serta sudut orientasi yang digunakan.

#### 3.2.1 Spesifikasi LED

LED yang digunakan pada tugas akhir ini menggunakan LED dengan daya total sebesar 5 Watt berjumlah 1 buah LED tersebut diletakkan di tengah ruangan.

#### 3.2.2 Kanal Transmisi

Kanal yang digunakan ialah menggunakan kanal LOS yang berarti di dalam ruangan tersebut tidak terdapat interferensi dari cahaya lain dan *obstacle* yang mengganggu proses transmisi.

#### 3.2.3 Spesifikasi Photodetector

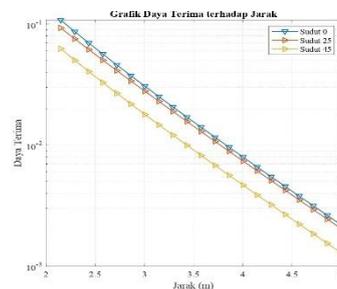
*Photodetector* yang digunakan berjenis P-I-N *Photodetector*.

## 4. Hasil dan Analisis

Bab ini menampilkan hasil pengujian berdasarkan parameter – parameter yang telah dijelaskan di bab sebelumnya. Terdapat 4 skenario yang dimana scenario I mengenai orientasi sudut  $0^\circ$ , scenario II mengenai orientasi sudut  $25^\circ$ , scenario III mengenai orientasi sudut  $45^\circ$  dan scenario IV mengenai simulasi BER M-PPM.

### 4.1. Analisis Simulasi Scenario I

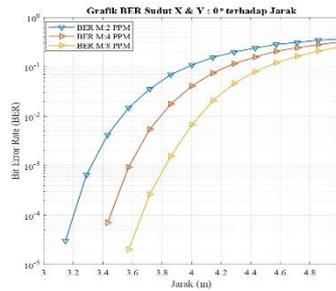
#### 4.1.1. Analisis Hasil Simulasi Daya Terima Terhadap Jarak



**Gambar 4.1** Grafik daya terima terhadap jarak dengan orientasi sudut  $0^\circ, 25^\circ, 45^\circ$ .

Gambar 4.1 menunjukkan nilai daya terima terhadap jarak dengan orientasi sudut, di mana sumbu x dan sumbu y masing - masing menggunakan sudut sebesar  $0^\circ$ ,  $25^\circ$  dan  $45^\circ$ . Hasil analisis menunjukkan pada sudut orientasi  $0^\circ$  daya terima terbesar berada pada jarak 2.15 m dengan daya terima 0.1081 Watt sedangkan daya terima terkecil berada pada jarak 5 m dengan daya terima  $0.22 \times 10^{-2}$  Watt. Untuk sudut orientasi  $25^\circ$  daya terima terbesar pada jarak 2.15 m dengan daya terima 0.0930 Watt sedangkan daya terima terkecil berada pada jarak 5 m dengan daya terima  $0.20 \times 10^{-2}$  Watt. Pada sudut orientasi  $45^\circ$  daya terima terbesar berada pada jarak 2.15 m dengan daya terima 0.0626 Watt sedangkan daya terima terkecil berada pada jarak 5 m dengan daya terima  $0.13 \times 10^{-2}$  Watt. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, kami menemukan bahwa semakin dekat jarak *receiver* terhadap *transmitter* maka akan semakin besar daya terima yang didapat, ataupun sebaliknya dan semakin besar nilai orientasi sudut maka daya terima semakin kecil begitupun sebaliknya, hal tersebut dikarenakan adanya perubahan sudut orientasi penerima yang berpengaruh terhadap performansi M-PPM.

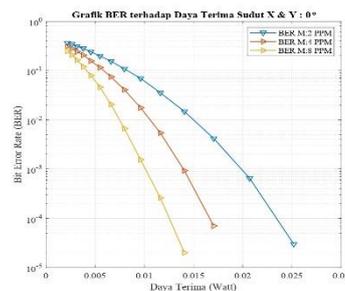
#### 4.1.2. Analisis Hasil Simulasi BER Sudut $0^\circ$ Terhadap Jarak



**Gambar 4.2.** Grafik BER sudut  $0^\circ$  terhadap jarak dengan modulasi 2-PPM, 4-PPM, dan 8-PPM.

Gambar 4.2 menunjukkan grafik perbandingan BER terhadap jarak dengan menggunakan modulasi 2-PPM, 4-PPM, dan 8-PPM. Hasil analisis menunjukkan penggunaan modulasi 2-PPM dengan jarak 5 m dengan nilai BER sama dengan  $0^\circ$  dan jarak 3.2 m mendapatkan nilai BER acuan optimal  $10^{-3}$  sebesar  $6,5 \times 10^{-4}$ . Modulasi 4-PPM dengan jarak 5 m dengan nilai BER sama dengan 0 dan jarak 3.57 m mendapatkan nilai BER acuan optimal  $10^{-3}$  sebesar  $9,3 \times 10^{-4}$ . Pada modulasi 8-PPM dengan jarak 5 m dengan nilai BER sama dengan 0 dan jarak 3.71 m mendapatkan nilai BER acuan optimal  $10^{-3}$  sebesar  $2,6 \times 10^{-4}$ . Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, kami menemukan bahwa jarak sangat mempengaruhi BER yang dimana semakin jarak *receiver* terhadap sumber cahaya maka nilai BER akan semakin baik dan begitupun sebaliknya, hal tersebut dikarenakan dengan adanya leveling M-PPM yang berpengaruh terhadap peformansi BER.

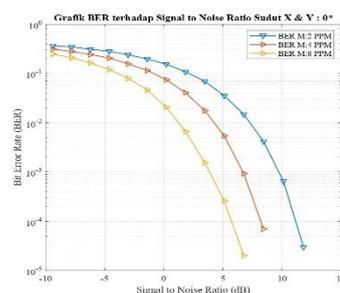
#### 4.1.3. Analisis Hasil Simulasi BER Sudut $0^\circ$ Terhadap Daya Terima



**Gambar 4.3** Grafik BER sudut  $0^\circ$  terhadap daya terima dengan modulasi 2-PPM, 4-PPM, dan 8-PPM.

Gambar 4.3 menunjukkan grafik perbandingan BER terhadap daya terima yang sumbu x dan sumbu y dengan sudut orientasi  $0^\circ$  menggunakan modulasi 2-PPM, 4-PPM, dan 8-PPM. Hasil analisis menunjukkan penggunaan modulasi 2-PPM dengan daya terima terbesar adalah  $1,081 \times 10^{-1}$  Watt dengan nilai BER sama dengan 0 dan daya terima sebesar  $2,069 \times 10^{-2}$  Watt dengan nilai BER sama dengan  $6,500 \times 10^{-4}$  memenuhi syarat BER  $10^{-3}$ . Modulasi 4-PPM dengan daya terima terbesar adalah  $1,081 \times 10^{-1}$  Watt dengan nilai BER sama dengan 0 dan daya terima sebesar  $1,406 \times 10^{-2}$  Watt dengan nilai BER sama dengan  $9,300 \times 10^{-4}$  memenuhi syarat BER  $10^{-3}$ . Modulasi 8-PPM dengan daya terima terbesar adalah  $1,081 \times 10^{-1}$  Watt dengan nilai BER sama dengan 0 dan daya terima sebesar  $1,162 \times 10^{-2}$  Watt dengan nilai BER sama dengan  $2,600 \times 10^{-4}$  memenuhi syarat BER  $10^{-3}$ .

#### 4.1.4. Analisis Hasil Simulasi BER Sudut $0^\circ$ Terhadap SNR

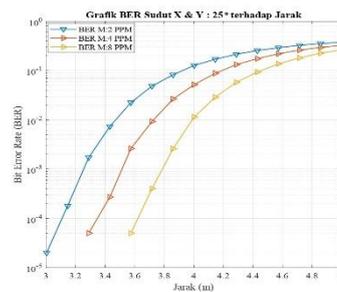


**Gambar 4.4** Grafik BER sudut  $0^\circ$  terhadap SNR dengan modulasi 2-PPM, 4-PPM, dan 8-PPM.

Gambar 4.4 menunjukkan grafik perbandingan BER terhadap SNR yang sumbu x dan sumbu y dengan sudut orientasi  $0^\circ$  menggunakan modulasi 2-PPM, 4-PPM, dan 8-PPM. Saat kondisi modulasi 2-PPM menunjukkan nilai BER sama dengan  $6,500 \times 10^{-4}$  yang dimana memenuhi syarat BER  $10^{-3}$  saat SNR berada pada nilai 10.12 dB. Modulasi 4-PPM menunjukkan nilai BER sama dengan  $9,300 \times 10^{-4}$  memenuhi syarat BER  $10^{-3}$  saat SNR berada pada nilai 6.76 dB. Untuk Modulasi 8-PPM menunjukkan nilai BER sama dengan  $2,600 \times 10^{-4}$  memenuhi syarat BER  $10^{-3}$  saat SNR berada pada nilai 5.11 dB. Hasil simulasi ini menunjukkan semakin besar nilai dari SNR maka semakin bagus kualitas dari suatu jaringan serta performa dari kinerja BER berpengaruh terhadap SNR.

## 4.2. Analisis Simulasi Scenario II

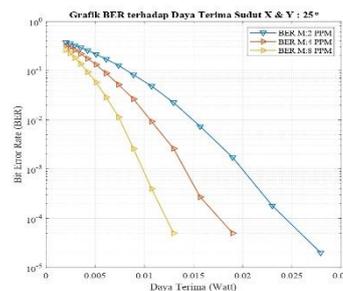
### 4.2.1. Analisis Hasil Simulasi BER Sudut $25^\circ$ Terhadap Jarak



**Gambar 4.5** Grafik BER sudut  $25^\circ$  terhadap jarak dengan modulasi 2-PPM, 4-PPM, dan 8-PPM.

Gambar 4.5 menunjukkan grafik perbandingan BER terhadap jarak dengan menggunakan modulasi 2-PPM, 4-PPM, dan 8-PPM. Hasil analisis menunjukkan penggunaan modulasi 2-PPM dengan jarak 5 m dengan nilai BER sama dengan 0 dan jarak 3.1 m mendapatkan nilai BER acuan optimal  $10^{-3}$  sebesar  $1,8 \times 10^{-4}$ . Modulasi 4-PPM dengan jarak 5 m dengan nilai BER sama dengan 0 dan jarak 3.43 m mendapatkan nilai BER acuan optimal  $10^{-3}$  sebesar  $2,7 \times 10^{-4}$ . Pada modulasi 8-PPM dengan jarak 5 m dengan nilai BER sama dengan 0 dan jarak 3.71 m mendapatkan nilai BER acuan optimal  $10^{-3}$  sebesar  $4,0 \times 10^{-4}$ . Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, kami menemukan bahwa jarak sangat mempengaruhi BER yang dimana semakin jarak *receiver* terhadap sumber cahaya maka nilai BER akan semakin baik dan begitupun sebaliknya, hal tersebut dikarenakan dengan adanya leveling M-PPM yang berpengaruh terhadap performansi BER.

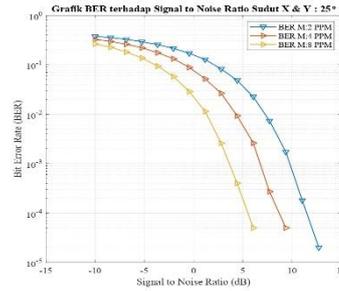
### 4.2.2. Analisis Hasil Simulasi BER Sudut $25^\circ$ Terhadap Daya Terima



**Gambar 4.6** Grafik BER sudut  $25^\circ$  terhadap daya terima dengan modulasi 2-PPM, 4-PPM, dan 8-PPM.

Gambar 4.6 menunjukkan grafik perbandingan BER terhadap daya terima yang sumbu x dan sumbu y dengan sudut orientasi  $25^\circ$  menggunakan modulasi 2-PPM, 4-PPM, dan 8-PPM. Hasil analisis menunjukkan penggunaan modulasi 2-PPM dengan daya terima terbesar adalah  $9,298 \times 10^{-2}$  Watt dengan nilai BER sama dengan 0 dan daya terima sebesar  $2,299 \times 10^{-2}$  Watt dengan nilai BER sama dengan  $1,800 \times 10^{-4}$  memenuhi syarat BER  $10^{-3}$ . Modulasi 4-PPM dengan daya terima terbesar adalah  $9,298 \times 10^{-2}$  Watt dengan nilai BER sama dengan 0 dan daya terima sebesar  $1,567 \times 10^{-2}$  Watt dengan nilai BER sama dengan  $2,700 \times 10^{-4}$  memenuhi syarat BER  $10^{-3}$ . Modulasi 8-PPM dengan daya terima terbesar adalah  $9,298 \times 10^{-2}$  Watt dengan nilai BER sama dengan 0 dan daya terima sebesar  $1,073 \times 10^{-2}$  Watt dengan nilai BER sama dengan  $4,000 \times 10^{-4}$  memenuhi syarat BER  $10^{-3}$ .

### 4.2.3. Analisis Hasil Simulasi BER Sudut $25^\circ$ Terhadap SNR

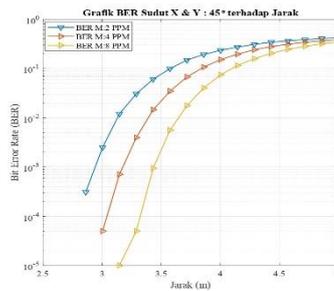


**Gambar 4.7** Grafik BER sudut 25° terhadap SNR dengan modulasi 2-PPM, 4-PPM, dan 8-PPM.

Gambar 4.7 menunjukkan grafik perbandingan BER terhadap SNR yang sumbu x dan sumbu y dengan sudut orientasi 25° menggunakan modulasi 2-PPM, 4-PPM, dan 8-PPM. Saat kondisi modulasi 2-PPM menunjukkan nilai BER sama dengan  $1,800 \times 10^{-4}$  yang dimana memenuhi syarat BER  $10^{-3}$  saat SNR berada pada nilai 11.03 dB. Modulasi 4-PPM menunjukkan nilai BER sama dengan  $2,700 \times 10^{-4}$  memenuhi syarat BER  $10^{-3}$  saat SNR berada pada nilai 7.71 dB. Untuk Modulasi 8-PPM menunjukkan nilai BER sama dengan  $4,000 \times 10^{-4}$  memenuhi syarat BER  $10^{-3}$  saat SNR berada pada nilai 4.42 dB. Hasil simulasi ini menunjukkan semakin besar nilai dari SNR makin semakin bagus kualitas dari suatu jaringan serta peforma dari kinerja BER berpengaruh terhadap SNR.

**4.3. Analisis Simulasi Scenario III**

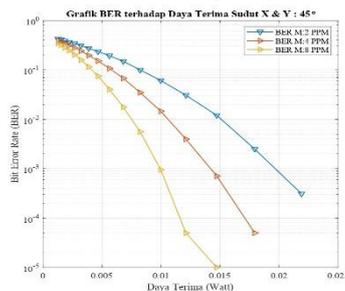
**4.3.1. Analisis Hasil Simulasi BER Sudut 45° Terhadap Jarak**



**Gambar 4.8** Grafik BER sudut 45° terhadap jarak dengan modulasi 2-PPM, 4-PPM, dan 8-PPM.

Gambar 4.8 menunjukkan grafik perbandingan BER terhadap jarak dengan menggunakan modulasi 2-PPM, 4-PPM, dan 8-PPM. Hasil analisis menunjukkan penggunaan modulasi 2-PPM dengan jarak 5 m dengan nilai BER sama dengan 0 dan jarak 2.8 m mendapatkan nilai BER acuan optimal  $10^{-3}$  sebesar  $3,1 \times 10^{-4}$ . Modulasi 4-PPM dengan jarak 5 m dengan nilai BER sama dengan 0 dan jarak 3.14 m mendapatkan nilai BER acuan optimal  $10^{-3}$  sebesar  $7,1 \times 10^{-4}$ . Pada modulasi 8-PPM dengan jarak 5 m dengan nilai BER sama dengan 0 dan jarak 3.43 m mendapatkan nilai BER acuan optimal  $10^{-3}$  sebesar  $9,5 \times 10^{-4}$ . Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, kami menemukan bahwa jarak sangat mempengaruhi BER yang dimana semakin jarak receiver terhadap sumber cahaya maka nilai BER akan semakin baik dan begitupun sebaliknya, hal tersebut dikarenakan dengan adanya leveling M-PPM yang berpengaruh terhadap peformansi BER.

**4.3.2. Analisis Hasil Simulasi BER Sudut 45° Terhadap Daya Terima**

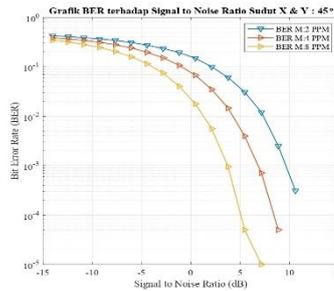


**Gambar 4.9** Grafik BER sudut 45° terhadap daya terima dengan modulasi 2-PPM, 4-PPM, dan 8-PPM.

Gambar 4.9 menunjukkan grafik perbandingan BER terhadap daya terima yang

sumbu x dan sumbu y dengan sudut orientasi 45° menggunakan modulasi 2-PPM, 4-PPM, dan 8-PPM. Hasil analisis menunjukkan penggunaan modulasi 2-PPM dengan daya terima terbesar adalah  $6,261 \times 10^{-2}$  Watt dengan nilai BER sama dengan 0 dan daya terima sebesar  $2,189 \times 10^{-2}$  Watt dengan nilai BER sama dengan  $3,100 \times 10^{-4}$  memenuhi syarat BER  $10^{-3}$ . Modulasi 4-PPM dengan daya terima terbesar adalah  $6,261 \times 10^{-2}$  Watt dengan nilai BER sama dengan 0 dan daya terima sebesar  $7,100 \times 10^{-4}$  memenuhi syarat BER  $10^{-3}$ . Modulasi 8-PPM dengan daya terima terbesar adalah  $6,261 \times 10^{-2}$  Watt dengan nilai BER sama dengan 0 dan daya terima sebesar  $9,977 \times 10^{-2}$  Watt dengan nilai BER sama dengan  $9,500 \times 10^{-4}$  memenuhi syarat BER  $10^{-3}$ .

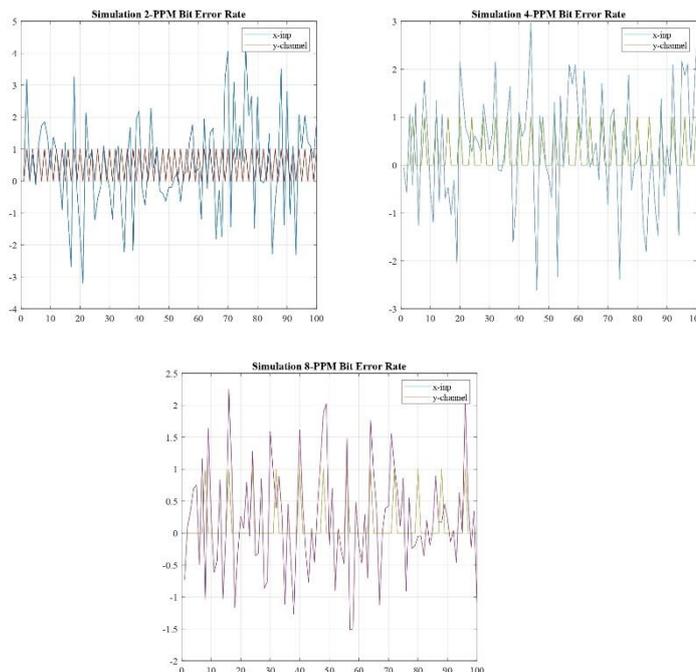
**4.3.3. Analisis Hasil Simulasi BER Sudut 45° Terhadap SNR**



**Gambar 4.10** Grafik BER sudut 45° terhadap SNR dengan modulasi 2-PPM, 4-PPM, dan 8-PPM.

Gambar 4.10 menunjukkan grafik perbandingan BER terhadap SNR yang sumbu x dan sumbu y dengan sudut orientasi 45° menggunakan modulasi 2-PPM, 4-PPM, dan 8-PPM. Saat kondisi modulasi 2-PPM menunjukkan nilai BER sama dengan  $3,100 \times 10^{-4}$  yang dimana memenuhi syarat BER  $10^{-3}$  saat SNR berada pada nilai 10.61 dB. Modulasi 4-PPM menunjukkan nilai BER sama dengan  $7,100 \times 10^{-4}$  memenuhi syarat BER  $10^{-3}$  saat SNR berada pada nilai 7.16 dB. Untuk Modulasi 8-PPM menunjukkan nilai BER sama dengan  $9,500 \times 10^{-4}$  memenuhi syarat BER  $10^{-3}$  saat SNR berada pada nilai 3.78 dB. Hasil simulasi ini menunjukkan semakin besar nilai dari SNR maka semakin bagus kualitas dari suatu jaringan serta peforma dari kinerja BER berpengaruh terhadap SNR.

**4.4. Analisis Simulasi Skenario IV**



**Gambar 4.11** Grafik BER 2-PPM, 4-PPM, 8-PPM

Gambar 4.11 Menunjukkan proses simulasi dari modulasi PPM dalam pengiriman bit yang dimana x=inp merupakan inialisasi dari M-ary yang bernilai 1 atau lebih dikenal sebagai 2-PPM, M-

ary yang bernilai 2 dikenal sebagai 4-PPM dan M-ary yang bernilai 3 dikenal sebagai 8-PPM sedangkan y-channel merupakan *Additive White Gaussian Noise* (AWGN). Dari gambar tersebut terlihat *pulse* yang bernilai 0 dan 1, untuk lebar *pulse* bernilai 1 dikelipatan 2 untuk 2-PPM kelipatan 4 untuk 4-PPM dan kelipatan 8 untuk 8-PPM. Serta y-channel memberikan gambaran amplitudo disaat PPM bekerja. Grafik BER PPM menggunakan skala pengiriman 1:100 sebagai contoh.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan dengan menggunakan software simulasi, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai daya terima pada sumbu x dan sumbu y dengan orientasi sudut  $0^\circ$ ,  $25^\circ$ , dan  $45^\circ$  sebesar  $1,081 \times 10^{-1}$  Watt sudut  $0^\circ$ ,  $9,928 \times 10^{-2}$  Watt sudut  $25^\circ$ ,  $6,261 \times 10^{-1}$  Watt sudut  $45^\circ$ .
2. Nilai *signal to noise ratio* pada sumbu x dan sumbu y dengan orientasi sudut  $0^\circ$ ,  $25^\circ$ , dan  $45^\circ$  sebesar 24.48 dB untuk sudut  $0^\circ$ , 23.17 dB untuk sudut  $25^\circ$ , dan 19.74 untuk sudut  $45^\circ$ . Dimana SNR berpengaruh terhadap nilai BER M-PPM.
3. Penggunaan *Pulse Position Modulation* sangatlah berpengaruh terhadap *Signal to Noise Ratio* dimana M-ary atau penentuan pangkat bit pada 2-PPM, 4-PPM, dan 8-PPM mampu mempengaruhi hasil dari setiap *bit error rate* yang kinerjanya tergantung oleh SNR. Semakin kecil nilai M pada PPM semakin mudah dalam menentukan letak pulsa yang error dan semakin besar M pada PPM sulit menentukan letak pulsa yang *error* sehingga membutuhkan banyak data sampling.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Karthik, B. M. Kumar, B. Ravikiran, K. Suresh, and G. Toney, "Implementation of visible light communication (vlc) for vehicles," in *2016 International Conference on Advanced Communication Control and Computing Technologies (ICACCCT)*. IEEE, 2016, pp. 673–675.
- [2] K.-D. Langer and J. Vucic, "Optical wireless indoor networks: Recent implementation efforts," in *36th European Conference and Exhibition on Optical Communication*. IEEE, 2010, pp. 1–6.
- [3] Z. Zeng, M. D. Soltani, H. Haas, and M. Safari, "Orientation model of mobile device for indoor vlc and millimetre wave systems," in *2018 IEEE 88th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall)*. IEEE, 2018, pp. 1–6.
- [4] Z. Ghassemlooy, W. Popoola, and S. Rajbhandari, *Optical wireless communications: system and channel modelling with Matlab R*. CRC press, 2019.
- [5] Y. S. Eroglu, Y. Yapici, and I. Guvenc, "Impact of random receiver orientation on visible light communications channel," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 67, no. 2, pp. 1313–1325, 2018.
- [6] Y. Yapici and I. Guvenc, "Non-orthogonal multiple access for mobile vlc networks with random receiver orientation," *arXiv preprint arXiv:1801.04888*, 2018.
- [7] M. D. Soltani, A. A. Purwita, Z. Zeng, H. Haas, and M. Safari, "Modeling the random orientation of mobile devices: Measurement, analysis and lifi use case," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 67, no. 3, pp. 2157–2172, 2018.
- [8] S.-H. Chen and C.-W. Chow, "Color-shift keying and code-division multiple access transmission for rgb-led visible light communications using mobile phone camera," *IEEE Photonics Journal*, vol. 6, no. 6, pp. 1–6, 2014.
- [9] L. W. Couch, H. Shao, X. Li, and L. Liu, *Digital and analog communication systems*. Citeseer, 1997, vol. 5.
- [10] Z. Ghassemlooy, L. N. Alves, S. Zvanovec, and M.-A. Khalighi, *Visible light communications: theory and applications*. CRC press, 2017.
- [11] Z. Wang, Q. Wang, W. Huang, and Z. Xu, *Visible light communications: modulation and signal processing*. John Wiley & Sons, 2017.
- [12] Y. Zhuang, L. Hua, L. Qi, J. Yang, P. Cao, Y. Cao, Y. Wu, J. Thompson, and H. Haas, "A survey of positioning systems using visible led lights," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 20, no. 3, pp. 1963–1988, 2018.