

**PERFORMANSI TEKNIK MODULASI DCO-OFDM DENGAN  
ORIENTASI PENERIMA UNTUK TEKNOLOGI VLC (VISIBLE LIGHT  
COMMUNICATION)**

***PERFORMANCE OF DCO-OFDM MODULATION TECHNIQUE WITH  
RECIPIENT ORIENTATION FOR VLC (VISIBLE LIGHT  
COMMUNICATION) TECHNOLOGY***

Bintang Pangestu<sup>1</sup>, Akhmad Hambali<sup>2</sup>, Brian Pamukti<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>bintangpangestu@student.telkomuniversity.ac.id,

<sup>2</sup>ahambali@telkomuniversity.ac.id, <sup>3</sup>brianp@telkomuniversity.ac.id

**Abstrak**

Tugas Akhir ini melakukan penelitian terhadap pengaruh teknik *multiplexing* pada teknologi *Visible Light Communication* (VLC). Pada saat ini, teknologi *Visible Light Communication* (VLC) sedang dikembangkan terutama di dalam ruangan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat yaitu penerangan dan konektivitas internet dengan memakai teknologi *Light Fidelity* (Li-Fi).

Pada Tugas Akhir ini penulis melakukan simulasi dan menganalisis pengaruh penggunaan teknik *multiplexing* pada sistem VLC diruangan tertutup berukuran 5m x5m x 3m pada performa mapper 4-*Quadrature Amplitude Modulation* (4-QAM) pada teknik *multiplexing DC biased Optical Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (DCO-OFDM) dengan orientasi penerima pada sistem VLC. Menggunakan satu buah lampu *Light Emitting Diode* (LED) yang diposisikan pada titik 0, 0, 3 meter sebagai transmitter.

Setelah melakukan simulasi dan analisis pada Tugas Akhir ini, dapat disimpulkan bahwa modulasi 4-QAM efektif untuk digunakan dalam teknik *multiplexing* DCO-OFDM dengan daya kirim 2 Watt menghasilkan titik komunikasi maksimum jarak 2,92 m untuk Bit Rate 1 Gbps dan 3,10 m untuk Bit Rate 2 Gbps dan dengan daya kirim 4 Watt menghasilkan komunikasi maksimum jarak 3,6 m untuk Bit Rate 1 Gbps, 3,79 m untuk Bit Rate 2 Gbps dengan batas maksimum Bit Error Rate (BER)  $10^{-3}$ .

**Kata Kunci : VLC, QAM, DCO-OFDM, Fotodiode, BER, LED**

**Abstract**

This Final Project conducts research on the effect of multiplexing techniques on Visible Light Communication (VLC) technology. At this time, Visible Light Communication (VLC) technology is being developed mainly indoors to meet the needs of the community namely lighting and internet connectivity by using Light Fidelity (Li-Fi) technology.

In this Final Project, the writer simulates and analyzes the effect use of multiplexing techniques in VLC systems in closed rooms measuring 5m x5m x 3m on 4-*Quadrature Amplitud Modulation* (4-QAM) mapper performance in DC biased Optical Orthogonal Frequency Division Multiplexing (DCO-OFDM) multiplexing techniques with receiver orientation in the VLC system. Use one Light Emitting Diode (LED) lamp positioned at 0, 0, 3 meter as a transmitter.

After simulating and analyzing this Final Project, it can be concluded that the 4-QAM modulation is effective for use in multiplexing techniques DCO-OFDM with 2 Watt sending power produces maximum communication points the distance is 2.92 m for Bit Rate 1 Gbps and 3.10 m for Bit Rate 2 Gbps and with 4 Watt sending power produces a maximum communication distance of 3.6 m for 1 Gbps Bit Rate, 3.79 m for 2 Gbps Bit Rate with a maximum Bit Error Rate limit  $10^{-3}$ .

**Keywords : VLC, QAM, DCO-OFDM, Photodiode, BER, LED**

**1. Pendahuluan**

*Visible Light Communication* (VLC) muncul dibidang Komunikasi Nirkabel Optik (OWC) yang memanfaatkan *bandwidth* (LED) untuk mengirim data. Terlebih lampu LED memiliki kecepatan switching yang tinggi, sehingga sangat cocok jika digunakan sebagai bagian dari teknologi komunikasi nirkabel dengan cahaya tampak ini. Dengan menggabungkan iluminasi dan komunikasi, VLC menyediakan komunikasi di mana-mana saat mengatasi kekurangan dan keterbatasan komunikasi RF. Skema modulasi dan teknik peredupan untuk VLC dalam ruangan dibahas secara rinci [1].

Saluran transmisi terdiri dari dua jenis media trasmisi, *guided* dan *unguided*. Media transmisi *guided* adalah media transmisi terpandu, dimana sinyal informasi yang dikirimkan akan dipandu melalui kabel. Teknologi nirkabel dengan cahaya tampak ini menggunakan media tranmisi *unguided*. Pada penelitian sebelumnya, mendapatkan referensi dalam sistem komunikasi cahaya tampak (VLC), DCO-OFDM adalah

skema yang banyak digunakan untuk efisiensi spektral yang tinggi dan kompleksitas yang rendah. Dengan memperkenalkan fungsi sambungan kemiringan adaptif yang sesuai daya optik yang diperlukan, skema DCO-OFDM yang diusulkan memiliki potensi untuk secara efektif menghilangkan suara kliping. Selanjutnya, dua mekanisme pemilihan parameter dengan kompleksitas yang berbeda dan peningkatan kinerja dirancang untuk fungsi penyambungan dalam skema DCO-OFDM. Hasil simulasi memverifikasi efisiensi energi dan spectral skema yang diusulkan di bawah batasan daya optik [7].

Pada penelitian ini akan menganalisis perbandingan jenis modulasi DCO-OFDM yang digunakan pada teknologi VLC. Dengan meletakkan LED pada posisi tertentu kita simulasikan ke dalam *Software Aplikasi*. Skenario terdapat ruangan 5m x 5m x 3m dengan lampu LED yang diletakan pada atap dan disisi penerima photodetector diletakan di meja dengan tinggi kaki 1 m. Untuk posisi receiver terhadap pengirim tepat di titik 0, 0, 3 meter, kemudian receiver diubah sesuai orientasi sudut yang diinginkan, hal ini bertujuan untuk menggambarkan objek yang bergerak. Informasi digital berupa inputan sembarang dikirim menggunakan cahaya tampak yang dipancarkan oleh LED di sisi pengirim. Di sisi penerima, cahaya yang berisi informasi tersebut diterima oleh photodetector. Pada penelitian ini menganalisis performansi BER dengan pengaruh orientasi sudut.

## 2. Dasar Teori dan Sistem Model

### 2.1. Visible Light Communication (VLC)

*Light Fidelity* (Li-Fi) adalah teknologi komunikasi cahaya tampak yang memanfaatkan Lampu *Light Emitted Diode* (LED) untuk transmisi data. Li-Fi telah menerima perhatian yang cukup besar dari para peneliti, perusahaan, dan universitas di seluruh dunia. Spektrum yang terlihat mencakup Panjang gelombang dari 380 nm sampai 750 nm. Sistem VLC adalah media komunikasi sata menggunakan cahaya tampak antara 400 THz (780 nm) dan 800 THz (375 nm).



Gambar 1. Ilustrasi *Visible Light Communication*.

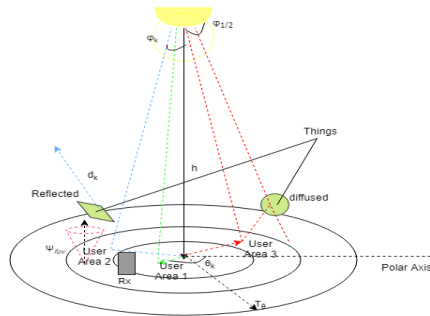
VLC dapat diimplementasikan di pada beberapa skenario aplikasi seperti Li-Fi, *Vehicle to vehicle communication*, komunikasi bawah laut, sistem komunikasi terintegrasi pada senuah rumah sakit, display informasi pada signboard, komunikasi di *musical system*, dan masih banyak kemungkinan implementasi dan pengembangan VLC. Implementasi dasar yang dapat dilakukan adalah menyediakan koneksi nirkabel pada semua perangkat di lokasi tertentu dengan sejumlah cahaya tampak di dalamnya. Bila lampu yang digunakan berupa LED, maka dengan menerapkan sistem VLC di dalam ruangan, LED dapat berfungsi baik sebagai media penerangan maupun sebagai pemancar sinyal informasi [1].

#### 2.1.1. Light Emitting Diode (LED)

LED adalah perangkat persimpangan semikonduktor yang menghasilkan optik spontan radiasi ketika mengalami eksitasi elektronik. Eksitasi elektronik dicapai dengan menerapkan tegangan bias ke depan pada p-n junction. Eksitasi ini memberi energi pada elektron di dalam material dalam keadaan bergerak menjadi tidak stabil, Ketika elektron berenergi kembali ke keadaan stabil, mereka melepaskan energi dalam proses dan energi ini dilepaskan dalam bentuk foton Foton yang dipancarkan bisa di bagian *Ultra Violet* (UV), Cahaya tampak atau *InfraRed* (IR) dari spektrum elektromagnetik tergantung pada celah energi pita bahan semikonduktor. Dalam LED, proses konversi cukup efisien, sehingga menghasilkan sangat sedikit panas dibandingkan dengan lampu pijar. Dalam cara kerja LED, eksitasi elektronik menyebabkan elektron dalam konduksi untuk secara spontan kembali ke pita valensi.

#### 2.1.2. Kanal Transmisi (NLOS)

Kanal yang digunakan diantara transmitter dan receiver pada penelitian ini adalah kanal *Non-Line of Sight* (NLOS). NLOS merupakan nilai random yang diinput sesuai dengan dimensi vektor. Gambar 2.2 merupakan pemodelan propagasi kanal yang diterapkan [2]



**Gambar 2.** Ilustrasi pemodelan kanal VLC.

Besarnya jarak ( $d$ ) propagasi dapat dihitung sesuai dengan persamaan:

$$d = \sqrt{((X_r) - (X_t))^2 + ((Y_r) - (Y_t))^2 + h^2}, \tag{1}$$

dengan  $X_r$  dan  $X_t$  merupakan koordinat receiver dan transmitter pada sumbu  $X$ ,  $Y_r$  dan  $Y_t$  merupakan koordinat receiver dan transmitter pada sumbu  $Y$ , dan  $Z_r$  dan  $Z_t$  merupakan koordinat receiver dan transmitter pada sumbu  $Z$ .

$$\phi = \arccos\left(\frac{d}{h}\right), \tag{2}$$

dengan  $h$  adalah tinggi receiver dan  $d$  adalah jarak propagasi. Distribusi cahaya pada sistem VLC yang dibuat diasumsikan bahwa cahaya LED terdistribusi secara lambertian, yang didenisikan pada persamaan

$$m = \frac{-\log_{10}(2)}{\log_{10}(\cos\theta^{\circ})}, \tag{3}$$

dengan  $m$  adalah emisi ranka *Lambertian*, beresuaian dengan sudut pada power  $\theta$  adalah Full Width at Half Maximum. Kemudian kanal NLOS dapat dilihat di :

$$H = \frac{(m+1) \cdot (10^{-4}) \cos^{(m+1)}\phi}{(2 \cdot (\pi) d^2)}, \tag{4}$$

dengan  $A$  adalah area photodetector pada receiver,  $d$  adalah jarak receiver terhadap transmitter.  $\Phi$  adalah sudut terhadap transmitter. Daya yang kemudian diterima oleh receiver dirumuskan oleh :

$$P_{rx} = P_{tot} \cdot H, \tag{5}$$

dengan  $P_{tot}$  adalah daya kirim dan  $H$  merupakan kanal NLOS.

**2.1.3 Parameter Performasi Sistem**

Pada semua jenis sistem transmisi data, *signal to noise ratio* (SNR) merupakan perbandingan antara kuat sinyal dengan kekuatan noise. Nilai SNR digunakan untuk menunjukkan kualitas kanal. Semakin besar nilai SNR, semakin tinggi kualitas kanal tersebut. Artinya, semakin besar kemungkinan kanal tersebut digunakan untuk lalu-lintas komunikasi data dan sinyal dalam kecepatan tinggi. Perhitungan SNR dapat dilihat pada persamaan [3]:

$$SNR = \frac{(P_{rx} \cdot R)^2}{2 \cdot q \cdot (I_p + I_d) \cdot B \cdot M^2 \cdot F(M) + 2 \cdot q \cdot I_L \cdot B + \frac{4 \cdot K_b \cdot T \cdot B}{R}}, \tag{6}$$

$q$  merupakan muatan elektron yang bernilai  $1.602 \times 10^{-19}$  C,  $I_D$  arus bulk dark primer,  $B$  lebar pita,  $M^2$  faktor multiplikasi serta  $F(M)$  sebagai noise figure. Pada PIN photodiode,  $M^2$  dan  $F(M)$  bernilai 1.

BER didefinisikan sebagai jumlah terjadinya error tiap jumlah bit data terkirim pada suatu sistem digital. Apabila jumlah bit error dan jumlah bit total terkirim.

$$BER = \frac{N_e}{N_t}, \tag{7}$$

dengan  $N_e$  adalah jumlah bit yang error,  $N_t$  adalah total bit. Pada sistem VLC, tingkat kualitas BER belum ditetapkan secara global besarnya, sehingga pada penulisan karya ilmiah dan proposal ini BER yang digunakan adalah sebagai [4].

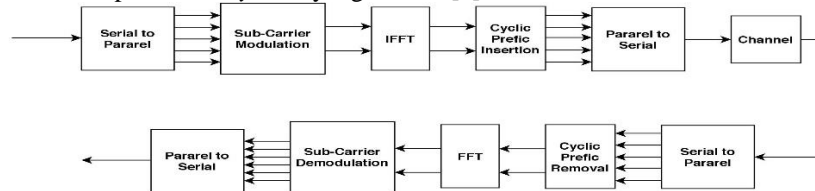
$$BER \leq 10^{-3}, \tag{8}$$

### 2.1.4. PIN Photodioda

*Photodetector* merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mendeteksi sinyal cahaya yang kemudian diubah menjadi sinyal listrik. Pada dasarnya, *photodetector* yang digunakan dalam sistem komunikasi optik ada 2 yaitu *PIN-diode* dan *Avalanche Photodiode (APD)*.

### 2.1.5. OFDM

OFDM adalah sebuah teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi (*multicarrier*) yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Masing-masing subcarrier tersebut dimodulasikan dengan Teknik modulasi konvensional pada rasio *symbol* yang rendah [5].



Gambar 3. Blok diagram OFDM.

### 2.1.6. DCO-OFDM

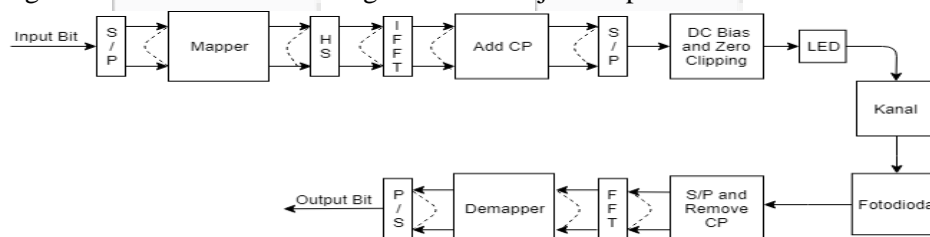
Pada penerapannya OFDM mentransmisikan sinyal yang bersifat bipolar dan kompleks. Namun pada sistem komunikasi optik, sinyal yang bersifat bipolar dan kompleks tidak dapat ditransmisikan. Pada teknologi VLC sinyal yang dikirim berbentuk unipolar dan bernilai *real*.

DCO-OFDM adalah salah satu cara untuk memastikan bahwa tidak ada sinyal negatif yang masuk ke dalam LED. Dalam DCO-OFDM diperlukan *Hermitian symmetry* agar semua sinyal yang keluar dari IFFT bernilai *real*. Kemudian DC Bias ditambahkan untuk menghilangkan sinyal yang bernilai negatif. Namun untuk mendapatkan DC bias yang optimal tergantung pada jumlah subcarrier. Untuk konstelasi yang lebih besar seperti 256-QAM, DC bias harus lebih tinggi agar bisa mendapatkan sinyal DCO-OFDM yang tidak perlu dipotong [6].

## 3. Perancangan sistem

### 3.1. Desain sistem

Perancangan sistem DCO-OFDM dengan VLC ditunjukkan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 4. Rancangan Sistem DCO-OFDM pada VLC.

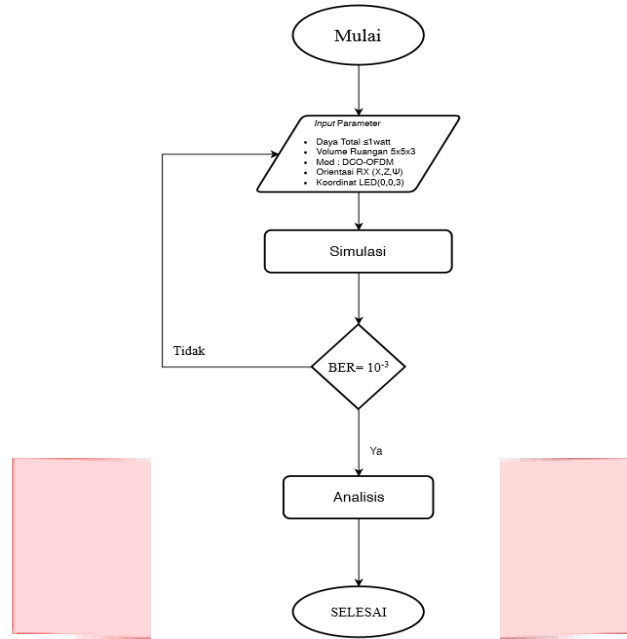
Sinyal input dibatasi untuk masuk ke blok *Hermitian Symmetry*. *Hermitian Symmetry* digunakan untuk mencapai output IFFT yang bernilai *real*. Karena sinyal telah melewati *Hermitian Symmetry*, maka sinyal output dari IFFT berbentuk *real*, tidak kompleks. Sinyal kemudian ditambahkan *Cyclic Prefix (CP)* dan diubah dari paralel ke seri (P/S).

Dalam sistem DCO-OFDM, *subcarriers* membawa semua simbol data sehingga pemotongan pada *noise* mempengaruhi semua subcarriers. Setiap puncak negatif yang tersisa setelah penambahan level DC bias dipotong di *zero*. Karena sinyal OFDM memiliki rasio daya *Peak-to-Average Power Ratio (PAPR)* yang sangat tinggi, maka bias yang sangat tinggi diperlukan untuk menghilangkan semua puncak negatif.

Sinyal yang terpotong kemudian dimasukkan ke LED. Dengan mengubah sinyal listrik sebagai cahaya yang dipancarkan, maka cahaya yang telah dipancarkan dengan udara sebagai media rambatnya, telah mengandung sinyal informasi yang sudah termodulasi dari blok *transmitter* dan kemudian diterima oleh blok *receiver*. Sinyal cahaya yang mengandung informasi tersebut akan mengenai permukaan fotodiode, kemudian terjadi perubahan cahaya ke sinyal listrik.

Sinyal yang dihasilkan ditransmisikan melalui saluran datar. *Noise* yang mempengaruhi sinyal dimodelkan sebagai *Additive White Gaussian Noise (AWGN)*, ditambahkan dalam domain listrik. Setelah itu simbol diubah kembali ke bentuk paralel dan dilakukan pelepasan *cyclic prefix* untuk mendapatkan simbol yang asli kembali. Kemudian masuk ke blok FFT untuk menguraikan simbol OFDM. Lalu sinyal didemodulasi dan diubah dari paralel ke serial.

3.2. Diagram Alir



Gambar 5. Diagram alir penelitian DCO-OFDM pada VLC

Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa dalam Tugas Akhir ini dilakukan tiga kali percobaan untuk melihat pengaruh peningkatan orde modulasi pada percobaan dan memperoleh BER terbaik. Flowchart di atas menunjukkan sistematisasi simulasi dari Tugas Akhir. Pertama-tama sistem dimulai dengan mapper 4-QAM, daya LED 2 Watt, dan parameter lain seperti subcarrier 256, simbol IFFT 128, cyclic prefix 16, dan DC bias 16 dB.

Sebelum menjalankan simulasi, dilakukan pengecekan terhadap setiap parameter simulasi terlebih dahulu dengan melakukan perhitungan pada sistem VLC hingga mendapatkan output berupa BER  $\leq 10^{-3}$ . Sistem disimulasikan dengan aplikasi Matlab R2018a untuk mendapatkan hasil BER dengan variasi mapper. Dengan syarat bila mendapatkan BER  $\leq 10^{-3}$ , maka hasil akan dianggap berhasil, kemudian dapat dianalisis. Tapi bila hasil BER tidak memenuhi syarat, maka akan dilakukan simulasi terus-menerus dengan mengubah parameter hingga mendapatkan hasil yang sesuai.

3.3. Parameter Performansi Sistem

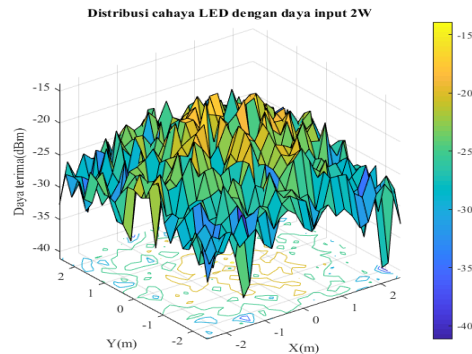
Percobaan pada simulasi sistem VLC dengan melihat perbandingan setiap modulasi memiliki beberapa parameter ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Parameter Simulasi.

Bagian	Parameter	Keterangan
Karakteristik VLC	Dimensi ruangan	5m x 5m x 3m
	Kondisi ruangan	Tertutup
	Model Kanal	Non-Line of Sight
Tx	Daya Transmit LED	2 Watt
	Semi angle half power ( $\varphi$ )	55°
Rx	Responsitas photodetector	0,55(A/W)
	FOV( $\Psi$ )	70
	Luas penampang photodetector	1cm <sup>2</sup>
OFDM	Jumlah simbol I/FFT	128
	Jumlah bit kirim	10 <sup>6</sup>
	Modulasi	4-QAM
	BER	$\cong 10^{-3}$
	Bit Rate	1Gbps, 1,5Gbps, 2Gbps
	Multiplexing	DCO-OFDM

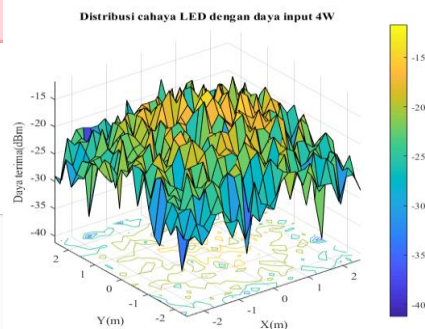
#### 4. Hasil Analisis dan Pengujian Sistem

Pengujian kinerja sistem VLC dapat dilihat pada Gambar 6, dengan hasil dalam bentuk tampilan gambaran distribusi cahaya yang terjadi di dalam ruangan dengan luas  $5\text{ m} \times 5\text{ m} \times 3\text{ m}$ , dimana terdapat satu buah lampu LED dengan daya 2 Watt yang diletakkan pada tengah ruangan.



**Gambar 6** Distribusi daya LED 2 Watt.

Pada saat menggunakan lampu LED dengan daya input sebesar 2 Watt, dihasilkan daya output maksimal sebesar -13,8824 dBm dan daya output minimal sebesar -41,1578 dBm.

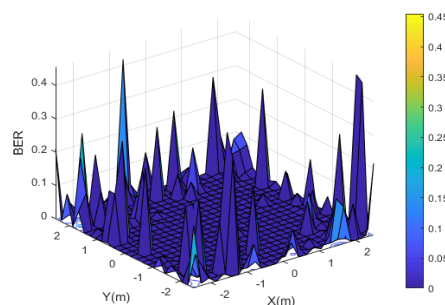


**Gambar 7** Distribusi daya LED 4 Watt.

Pada Gambar 7 menunjukkan representasi dari distribusi cahaya LED dengan daya input 4 W. Pada saat menggunakan lampu LED dengan daya input sebesar 4 W, dihasilkan daya output maksimal sebesar -10,9582 dBm dan daya output minimal sebesar -33,7464 dBm.

##### 4.1. Hasil Cakupan BER sistem VLC daya LED 2 Watt *Bit Rate* 1 Gbps

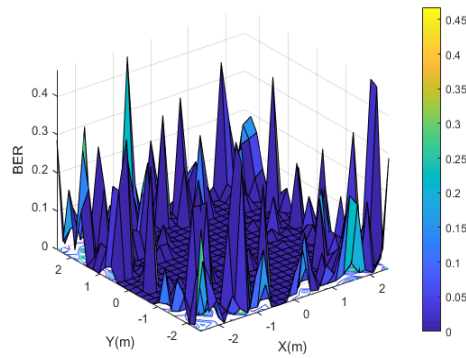
Idealnya, semakin dekat posisi *receiver* dengan sumber cahaya, maka BER atau tingkat kesalahan bit akan semakin kecil, sehingga data yang diterima semakin kecil kemungkinan memiliki *error*. Begitu pula sebaliknya, semakin jauh posisi *receiver* dengan sumber cahaya, maka BER atau tingkat kesalahan bit akan semakin besar.



**Gambar 7** Daerah cakupan daya terima 2 Watt *Bit Rate* 1 Gbps.

Dari data yang diambil luas daerah yang dicakup adalah  $20,6\text{ m}^2$ . Angka tersebut didapat dari menjumlahkan luas tiap *cell* excell yang termasuk dalam parameter BER  $10^{-3}$ , di mana satu *cell* mewakili luas  $0,04\text{ m}^2$ . Jarak pengujian dengan *Bit Rate* 1 Gbps adalah 2,92 m menghasilkan sudut maksimum komunikasi sebesar  $42,59^\circ$ .

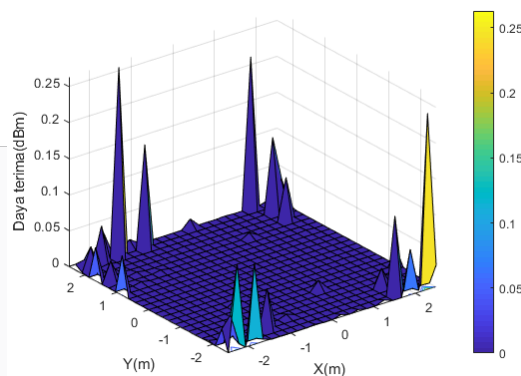
**4.2. Hasil Cakupan BER sistem VLC daya LED 2 Watt Bit Rate 2 Gbps**



**Gambar 8** Daerah cakupan daya terima 2 Watt Bit Rate 2 Gbps.

Luas daerah tersebut kurang lebih  $17,72 m^2$ . Apabila dibanding dengan kedua Bit Rate yang berbeda, Bit Rate 2 Gbps tidak mumpuni untuk diimplementasikan untuk proses modulasi sistem Visible light Communication pada daya LED 2 Watt. Karena pada Gambar 4.7 terlihat jelas zona datar hampir tidak mencakup seluruh permukaan alas ruangan yang diekspresikan sebagai X(m) dan Y(m). Dapat disimpulkan dikarenakan ruangan tersebut banyak gangguan namun user masih bisa melakukan aktifitas komunikasi. Pada jarak pengujian Bit Rate 2 Gbps adalah 3,16 m sudut maksimum yang dicapai sebesar  $47,29^\circ$ .

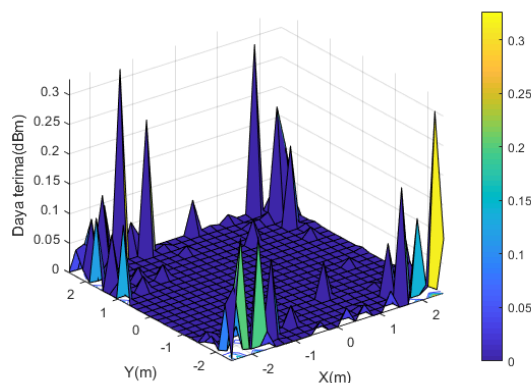
**4.3. Hasil Cakupan BER sistem VLC daya LED 4 Watt Bit Rate 1 Gbps**



**Gambar 9** Daerah cakupan daya terima 4 Watt Bit Rate 1 Gbps.

Luas daerah komunikasi yang mampu dicakup yaitu  $23,84 m^2$ . Apabila dibanding kan dengan Bit Rate 1 Gbps dengan daya LED 4 Watt, pada bagian alas X(m) dan Y(m) Gambar 9 terlihat zona datar yang berarti BER = 0 tampak lebih sedikit dan zona yang tajam lebih banyak, apabila terdapat user menggunakan alat komunikasi pada zona yang tajam kemungkinan data informasi yang diterima tidak akurat atau bisa dikatakan error.

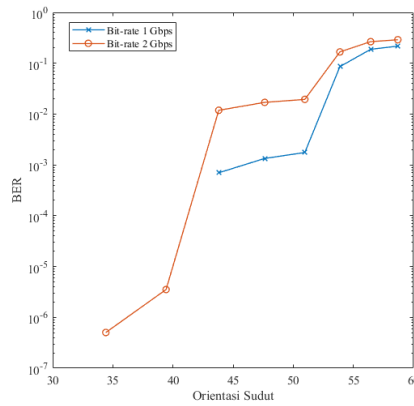
**4.4. Hasil Cakupan BER sistem VLC daya LED 4 Watt Bit Rate 2 Gbps**



**Gambar 10** Daerah cakupan daya terima 4 Watt Bit Rate 2 Gbps.

Pada Gambar 10 menunjukkan coverage area yang dihasilkan dari daya LED 4 Watt dengan Bit Rate 2 Gbps mencakup hampir seluruh area ruangan. Dari simulasi dihasilkan luas coverage area sebesar  $22,48 m^2$ . Pengaruh redaman terhadap jarak mengakibatkan penurunan daya terima yang membuat nilai BER semakin meningkat.

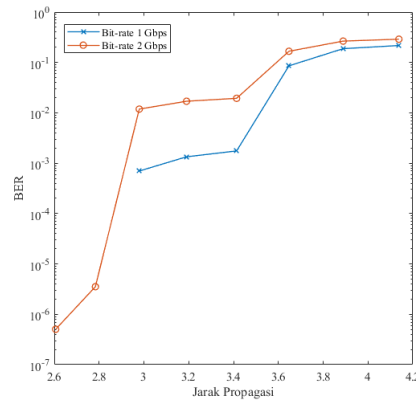
**4.5. Perbandingan BER terhadap Orientasi Sudut pada LED 2 Watt**



**Gambar 9** Grafik Perbandingan BER dan Orientasi sudut.

Gambar 9 menunjukkan perbandingan BER dan Sudut Batas maksimal sudut yang terbentuk agar menghasilkan BER untuk Bit Rate 1 Gbps = 42,59° dan 2 Gbps = 47,29° Sudut terima paling besar diantara kedua Bit Rate tersebut adalah 2 Gbps. Hal tersebut disebabkan oleh jarak propagasi 2 Gbps paling jauh.

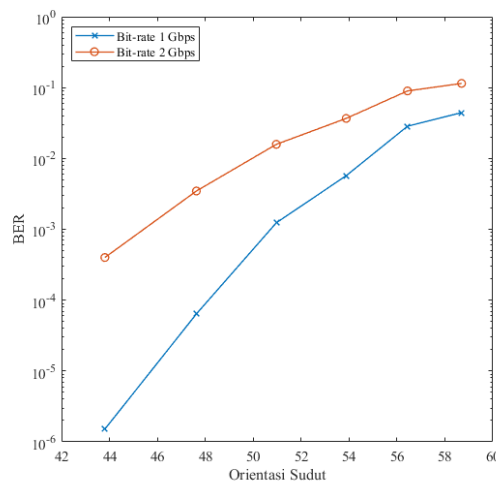
**4.6. Perbandingan BER terhadap Jarak propagasi pada LED 2 Watt**



**Gambar 10** Grafik Perbandingan BER dan Jarak Propagasi.

Gambar 10 menunjukkan apabila jarak penerima semakin jauh dari sumber cahaya yaitu lampu LED, maka BER yang dihasilkan semakin besar. Jarak maksimal yang dihasilkan dari kedua Bit Rate yang berbeda, untuk 1 Gbps = 2,92 dan 2 Gbps = 3,16 m.

**4.7. Perbandingan BER terhadap Orientasi pada LED 4 Watt**

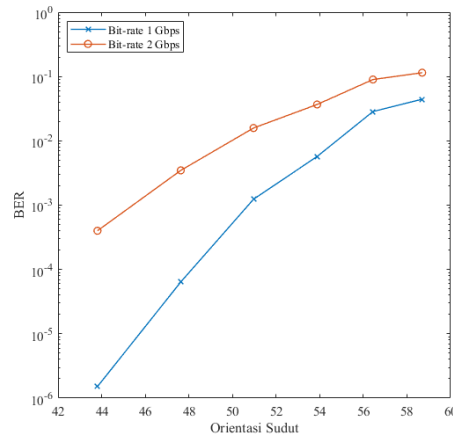


**Gambar 11** Grafik Perbandingan BER dan Orientasi Sudut.



Batas maksimal sudut yang terbentuk agar menghasilkan BER untuk Bit Rate 1 Gbps =  $53,39^\circ$  dan 2 Gbps =  $55,47^\circ$ . Sudut terima paling besar diantara kedua Bit Rate tersebut adalah 1 Gbps.

#### 4.8. Perbandingan BER terhadap Jarak Propagasi pada LED 4 Watt



**Gambar 12** Grafik Perbandingan BER dan Jarak Propagasi.

Gambar 12 menjelaskan bahwa jarak maksimal yang dihasilkan dari kedua Bit Rate yang berbeda dengan daya LED 4 Watt, untuk 1 Gbps = 3,6 m dan 2 Gbps = 3,79 m.

#### 5. Kesimpulan

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

1. Berdasarkan segi jangkauan komunikasi, untuk daya LED 4 Watt *Bit Rate* 1 Gbps lebih baik dari pada daya 2 Watt *Bit Rate* 1 Gbps ataupun *Bit Rate* 2 Gbps. Hal ini dapat dikarenakan daya LED 4 Watt *Bit Rate* 1 Gbps dapat menjangkau wilayah yang paling luas dengan BER mencapai  $10^{-3}$ .
2. Apabila dilihat dari besarnya daya yang diterima dalam suatu ruangan, setiap user yang berada di tiap ruangan akan mendapatkan daya secara random dikarenakan banyaknya gangguan.
3. Semakin tinggi *Bit Rate* yang digunakan dalam sistem, maka cakupan area  $BER \leq 10^{-3}$  semakin sempit.

#### 6. Daftar Pustaka

- [1] L. I. Albraheem, L. H. Alhudaithy, A. A. Aljaser, M. R. Aldhafian, and G. M. Bahliwah, "Toward designing a li-fi-based hierarchical iot architecture," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 40 811–40 825, 2018.
- [2] A. F. N. M. A. Brian Pamukti, Vinsensius Sigit W.P. and N. Andini, "Waterfilling random resource allocation (w-frra) using noma for downlink lifi system," *Optical Communication Laboratory, School of Electrical Engineering*, vol. 22, no. 80, pp. 1–6, 2019.
- [3] Z. Ghassemlooy, W. Popoola, and S. Rajbhandari, *Optical wireless communications: system and channel modelling with Matlab R*. CRC press, 2019.
- [4] R. F. Adiati, "Analisis parameter signal to noise ratio dan bit error rate dalam backbone komunikasi fiber optik segmen lamongan-kebalen," Ph.D. dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [5] Y. G. Li and G. L. Stuber, *Orthogonal-frequency division multiplexing for wireless communications*. Springer Science & Business Media, 2006.
- [6] Z. Wang, Q. Wang, W. Huang, and Z. Xu, *Visible light communications: Modulation and signal processing*. John Wiley & Sons, 2017.