

## PENGARUH MULTIUSER DALAM TRANSMISI UPLINK VISIBLE LIGHT COMMUNICATION (VLC) MENGGUNAKAN DCO-OFDM

Nadya Syahritha Maghfirah<sup>1</sup>, Akhmad Hambali<sup>2</sup>, M. Irfan Maulana<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi SI Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom  
e-mail :<sup>1</sup>nadyasyahritha@student.telkomuniversity.ac.id,<sup>2</sup>ahambali@telkomuniversity.ac.id,  
<sup>3</sup>muhammadirfanm@telkomuniversity.ac.id

### ABSTRACT

*Visible Light Communication (VLC) is an alternative wireless communication besides radio communication. By utilizing visible light as the transmission medium, VLC is superior to Radio Frequency (RF). Some of its advantages include high data security and is safer for humans. However, VLC has disadvantage in uplink transmission because it can cause radiation from the transmitter if it is placed close to the user. In use, RF is used as an alternative to uplink transmission. However, in certain scenarios it is undesirable to adopt RF, such as in hospitals and airplane cabins because the radio wave propagation is restricted. In this case, infrared can be used as a solution to overcome this problem. However, it would be more profitable to use a VLC-based system with low power so that it can take advantage of the existing Light Emitting Diode (LED) and maximize the utilization of VLC. This study aims to model the multiuser effect on the VLC uplink transmission using multicarrier-modulation DC-bias Optical Orthogonal Frequency Division Multiplexing (DCO-OFDM). The results showed that by using DCO-OFDM, the VLC system can work well in a 5x5x3 meters room size with Line Of Sight (LOS) channels. Bit Error Rate (BER) threshold of  $10^{-3}$  with a minimum Signal To Noise Ratio (SNR) value of 0,193 dB is obtained in a scenario with 2 users, while the highest SNR is 29,041 dB obtained in a scenario with 4 users.*  
**Keywords :** BER, DCO-OFDM, multiuser, SNR, uplink

### INTISARI

*Visible Light Communication merupakan salah satu alternatif komunikasi nirkabel selain komunikasi radio. Dengan memanfaatkan cahaya tampak sebagai media transmisinya, VLC dinilai lebih unggul dari Radio Frequency (RF). Beberapa keunggulannya di antara lain memiliki keamanan data yang tinggi dan dianggap lebih aman bagi manusia. Namun, VLC memiliki kelemahan pada transmisi uplink karena dapat menyebabkan radiasi dari transmitter jika ditempatkan dekat dengan user. Umumnya, RF digunakan sebagai alternatif pada transmisi uplink. Namun, pada skenario tertentu tidak memungkinkan untuk menggunakan RF, seperti di rumah sakit dan kabin pesawat karena adanya pembatasan gelombang radio. Dalam hal ini, infrared dianggap dapat dijadikan solusi untuk mengatasi permasalahan ini. Akan tetapi, akan lebih menguntungkan apabila menggunakan sistem berbasis VLC dengan daya rendah sehingga dapat memanfaatkan Light Emitting Diode (LED) yang ada, serta memaksimalkan pemanfaatan dari VLC. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan pengaruh multiuser pada transmisi uplink VLC dengan menggunakan multicarrier-modulation DC-biased Optical Orthogonal Frequency Division Multiplexing (DCO-OFDM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan DCO-OFDM, sistem VLC dapat bekerja dengan baik dalam ruangan berukuran 5x5x3 meter dengan kanal Line Of Sight (LOS). Nilai Bit error Rate (BER) threshold sebesar  $10^{-3}$  dengan nilai Signal To Noise Ratio (SNR) minimum sebesar 0,193 dB diperoleh pada skenario dengan 2 user, sedangkan SNR tertinggi sebesar 29,401 dB diperoleh pada skenario dengan 4 user.*  
**Kata kunci :** BER, DCO-OFDM, multiuser, SNR, uplink

### 1. PENDAHULUAN

Teknologi pada zaman sekarang telah menunjukkan perkembangan yang cukup signifikan, khususnya di bidang telekomunikasi. *Visible Light Communication (VLC)* merupakan salah satu alternatif komunikasi nirkabel yang muncul selain komunikasi radio. Komunikasi VLC merupakan salah satu jenis komunikasi nirkabel optik yang menggunakan *Light-Emitting Diode (LED)* sebagai pencahayaan dan komunikasi pada spektrum cahaya tampak antara 375-780 nm (400 dan 800 THz) (Khan, 2016). Pada VLC, LED digunakan sebagai *transmitter* untuk mengirimkan data dan *photodetector* sebagai *receiver*. Dengan penggunaan LED sebagai pencahayaan dan komunikasi, VLC dianggap sebagai teknologi yang lebih efisien dibandingkan dengan *Radio Frequency (RF)* dan dianggap lebih aman bagi manusia (Y. Yang Z. Z., 2019). Pada umumnya, penransmisian data dikelompokkan menjadi *downlink* dan *uplink*. *Downlink* pada VLC merupakan proses dimana cahaya dari lampu LED digunakan untuk mengirimkan data dan diterima oleh perangkat *user*. Sedangkan *uplink* pada VLC merupakan proses pengiriman data dari *user* ke *receiver* yang dipasang pada langit-langit ruangan. Pada VLC, sistem transmisi *uplink* membutuhkan daya yang lebih besar dibandingkan dengan *downlink*. Oleh karena itu, *uplink* menjadi tantangan dalam sistem VLC sehingga VLC dianggap lebih cocok untuk diterapkan pada *downlink* dan teknologi RF untuk *uplink* (O. Z. Alsulami, 2019). Namun, ada skenario tertentu yang tidak memungkinkan untuk menggunakan RF, seperti di rumah sakit dan kabin pesawat karena adanya pembatasan gelombang radio. Oleh sebab itu, akan lebih

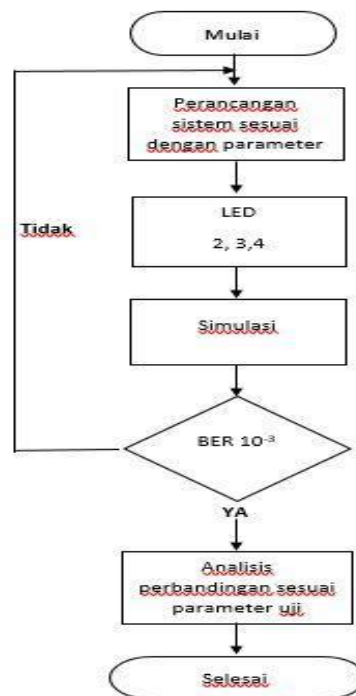
menguntungkan apabila dapat mendesain sistem VLC pada transmisi *uplink* dengan daya yang rendah sehingga dapat memaksimalkan keunggulan dari VLC (Y. Yang, 2017).

Pada sistem *uplink* VLC, seringkali terjadi tumpang tindih antar *subcarrier* di *receiver* sehingga sinyal yang diterima tidak dapat dipisahkan (Y. Yang, 2017). *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) memanfaatkan *multicarrier* yang mana antar *subcarrier* yang saling tumpang tindih akan diubah menjadi tegak lurus atau *orthogonal*, sehingga dapat memberi keuntungan pada efisiensi *bandwidth*. Selain itu, ketahanannya dalam mengatasi *Intereference Symbol* (ISI) juga menjadikan OFDM sebagai pilihan yang tepat. M. S. A. Mossaad (2015) dalam penelitiannya mengemukakan bahwa *Spatial Optical-OFDM* (SO-OFDM) dan *Optical Single-Carrier FDMA* (OSC-FDMA) dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan dengan menggunakan *filtering*. Sedangkan ketika dilihat dari analisis *Bit Error Rate* (BER), *DC-biased optical OFDM* (DCO-OFDM) dianggap lebih unggul dibandingkan SO-OFDM dan OSC-FDMA.

Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan perbandingan jumlah *user* yang menggunakan sumber cahaya berupa LED pada transmisi *uplink* menggunakan DCO-OFDM, serta meninjau daya yang dibutuhkan untuk proses penransmisi data, dan menganalisa optimasi performansi BER agar mencapai *threshold* yaitu sebesar  $10^{-3}$ .

## 2. METODE PENELITIAN

Tahap awal dari penelitian ini dimulai dengan membuat perancangan sistem simulasi sesuai dengan parameter yang telah ditentukan. Kemudian memasukkan spesifikasi atau input berupa data penelitian. LED yang digunakan berbanding lurus dengan jumlah *user*, yakni berjumlah 2 buah, 3 buah dan 4 buah. Adapun dimensi ruangan yang digunakan yaitu berukuran 5x5x3 meter. Apabila data telah dimasukkan dan dilakukan simulasi pada *software* Matlab dengan asumsi simulasi tanpa interferensi atau *obstacle*, maka akan diperoleh nilai BER. Apabila nilai BER yang diperoleh sebesar  $10^{-3}$ , maka simulasi dapat dilanjutkan dan menganalisa hasil yang didapatkan. Namun, apabila nilai BER yang diperoleh tidak sebesar  $10^{-3}$ , maka proses akan kembali ke awal hingga diperoleh nilai BER yang diinginkan. Alur penelitian untuk memperoleh nilai BER dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Sistem

Pada sistem ini, bit informasi dimodulasi dengan menggunakan teknik modulasi *M-Ary Quadrature* (M-QAM) DCO-OFDM. Pada proses kerja OFDM, bit data yang masuk diubah dari serial menjadi paralel dengan nilai frekuensi yang berbeda-beda dan tiap *subcarrier* dimodulasi. Setelah dimodulasi, sinyal diaplikasikan ke dalam *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) untuk menambahkan simbol-simbol dan menentukan jumlah frekuensi yang saling tegak lurus. Sebagai hasilnya frekuensi yang saling tegak lurus akan lebih akurat dan efisien. Pada bagian *receiver*, terdapat *Fast Fourier Transform* (FFT) sebagai pengurai dari simbol OFDM (demodulator). Kemudian penambahan *Cyclic Prefix* (CP) digunakan untuk menambah *guard interval* untuk mencegah terjadinya ISI. Sinyal akan dikonversikan kembali ke dalam bentuk serial dan kembali menjadi bentuk data informasi agar dapat dikirimkan.

Umumnya, pada sistem OFDM sinyal yang termodulasi berupa bilangan kompleks. Sementara pada VLC, informasi data yang ditransmisikan melalui LED membutuhkan sinyal *real* positif. Oleh karena itu, DCO-OFDM digunakan untuk mengubah sinyal bipolar menjadi unipolar, sehingga sinyal akan bernilai *real* dengan cara menambahkan DC bias pada sinyal dengan domain waktu (Lijun Deng, 2018).

Dalam DCO-OFDM, bit *input* yang pertama akan dimodulasi berdasarkan kepada *M-Ary* QAM. Kemudian digunakan simetri hermitian untuk memperoleh sinyal *real* setelah melalui blok IFFT (Y. Yang, 2017). Untuk mengubah sinyal bipolar menjadi unipolar, maka perlu ditambahkan DC bias. Sedangkan untuk sinyal domain waktu pada OFDM ditambahkan *clipping*. Kemudian DC bias ditambah sejumlah amplitudo maksimum dari sinyal negatif OFDM. Jika daya terbatas dan pada saat penambahan arus DC masih tersisa sinyal negatif, maka sinyal negatif tersebut akan dipotong.

Pada penelitian ini, sistem VLC disimulasikan dengan jumlah *user* yang berbeda-beda. Pada hasil simulasi, akan dilakukan pengambilan data berupa nilai *Signal To Noise Ratio* (SNR) pada jarak terdekat dan terjauh antara sumber dengan penerima. SNR merupakan sebuah perbandingan antara kekuatan sinyal dengan kekuatan derau (*noise*). Semakin tinggi nilai SNR per simbol ( $E_s/N_0$ ), maka kualitas sinyal dan kinerja BER akan semakin baik (Arnon, 2015). Adapun nilai BER dapat dicari setelah memperoleh nilai SNR. Parameter simulasi yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1. Pada sistem ini diasumsikan ruangan pada kondisi *Line Of Sight* (LOS) dengan *transmitter* berupa sumber cahaya dari LED putih Cree® XLamp® CXA1830 yang biasa digunakan pada perangkat elektronik, seperti komputer. Sumber cahaya diasumsikan terdapat pada ketinggian 0,85 meter di atas meja. *Receiver* yang digunakan berupa *photodetector*, jenis *photodetector* yang biasa digunakan dalam sistem VLC yakni *Avalanche Photodiode* (APD) dan *Positive Intrinsic Negative Photodiode* (PIN). Kedua jenis *photodetector* ini membutuhkan tegangan bias eksternal untuk dapat dioperasikan. APD membutuhkan tegangan bias yang sangat tinggi untuk dapat mendeteksi sinyal optik, sedangkan PIN dapat bekerja dengan kecepatan yang tinggi dan tegangan yang dipakai rendah (C. W. Chow, 2018). Pada penelitian ini, digunakan *photodetector* jenis PIN yang terdapat pada posisi atas dengan kondisi menempel dengan atap ruangan yang memiliki ketinggian 3 meter.

Tabel 1. Parameter Sistem

Parameter	Keterangan	Nilai	
<i>Transmitter</i>	Jumlah	2 user, 3 user, 4 user	
	Daya	1 W	
	Koordinat		(1,5;1,25;0,85) meter
			(-1,5;1,5;0,85) meter
			(1,25;-1,5;0,85) meter
		(-1,25;-1,25;0,85) meter	
<i>Receiver</i>	Jenis	PIN <i>Photodetector</i>	
	<i>Field of View</i> (FOV)	70°	
	Area Deteksi	1 cm <sup>2</sup>	
	Responsivitas	0,55 A/W	

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

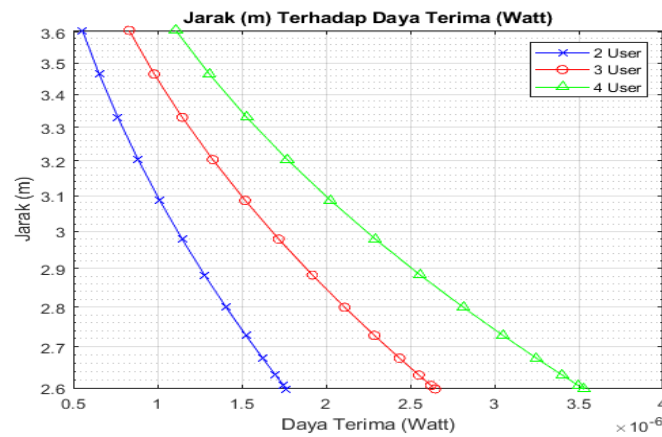
Skenario pengujian dilakukan terhadap parameter jumlah LED yang digunakan oleh *user* yakni sebanyak 2, 3, dan 4 buah dengan total daya masing-masing 1 watt, 1,5 watt dan 2 watt. Pengujian simulasi ditentukan dengan diterima atau tidaknya bit informasi yang dikirim dari *transmitter* ke *receiver* dengan acuan BER sebesar  $10^{-3}$ .

#### 3.1 Performansi Jarak Propagasi Terhadap Daya Terima

Tahap pertama pemodelan adalah membandingkan jarak propagasi terhadap daya terima yang diperoleh pada ruangan tertutup berukuran 5x5x3 meter dengan skenario 2 user, 3 user, dan 4 user. Jarak propagasi dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (1) sebagai berikut:

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

dengan XT dan XR sebagai koordinat dari *transmitter* dan *receiver* pada sumbu X, YT dan YR sebagai koordinat *transmitter* dan *receiver* pada sumbu Y. Kemudian ZT dan ZR sebagai koordinat *transmitter* dan *receiver* di sumbu Z.



**Gambar 2.** Grafik Perbandingan Jarak Propagasi terhadap Daya Terima pada masing-masing User

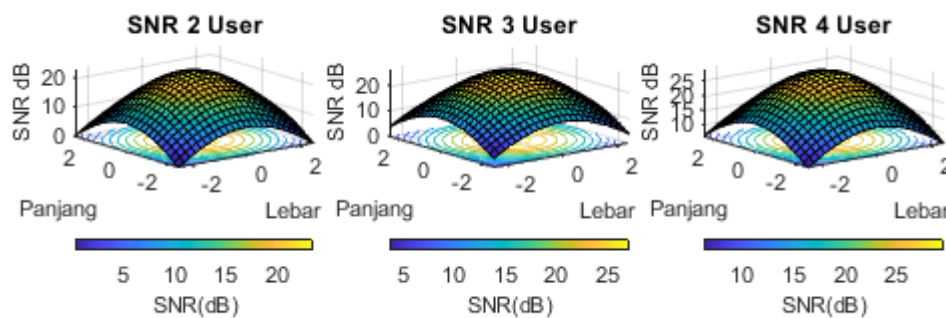
Berdasarkan Gambar 2 hasil perhitungan jarak dan daya terima pada sistem *uplink* VLC dengan 2 user menghasilkan daya terima sebesar  $1,75 \times 10^{-6}$  watt. Pada skenario 3 user daya terima maksimum yang dihasilkan sebesar  $2,6 \times 10^{-6}$  watt. Sedangkan pada skenario 4 user menghasilkan daya terima maksimum sebesar  $3,5 \times 10^{-6}$  watt.

### 3.2 Distribusi SNR dalam Ruangan

Berdasarkan parameter yang telah ditentukan sebelumnya, nilai SNR dapat dicari dengan menggunakan Persamaan (2) sebagai berikut:

$$SNR = \frac{(Prx \cdot R)^2}{2 \cdot q \cdot (Ip + ID) \cdot Be \times M^2 \times F(M) + 2 \cdot q \cdot IL \cdot Be \left( \frac{4 \cdot Kb \cdot T \cdot Be}{275} \right)} \quad (2)$$

dengan Prx merupakan daya terima, R merupakan responsivitas  $R=0.55$  A/W dengan arus primer ID dan IL bernilai 0, *bandwidth*  $Be=1$  GHz, merupakan *noise figure*, q merupakan muatan elektron, K merupakan konstanta Boltzman, M merupakan penguatan detektor, dan T merupakan suhu pada *noise thermal* sebesar  $298^\circ K$ , dan nilai tahanan sumber sebesar 275 Ohm.



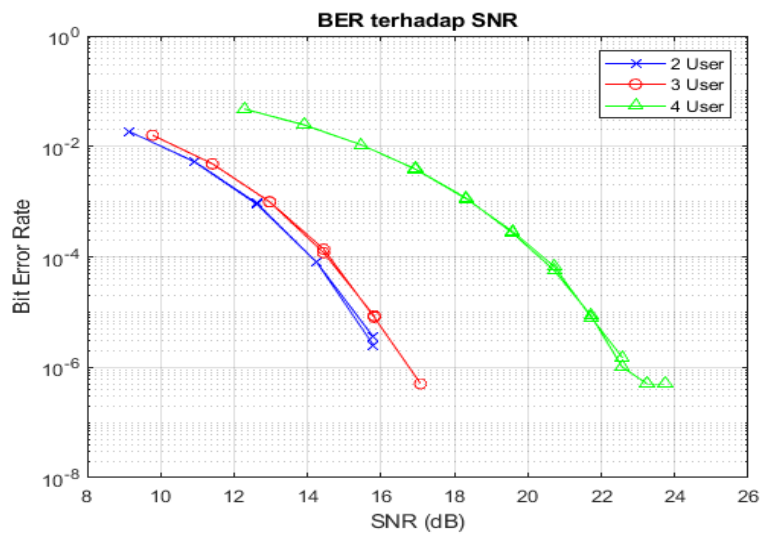
**Gambar 3.** Distribusi SNR di Ruangan

Berdasarkan Gambar 3, hasil menunjukkan bahwa karakteristik SNR di suatu ruangan dengan jumlah user yang berbeda akan menghasilkan nilai SNR yang berbeda pula. Pada skenario 2 user nilai SNR terendah dan tertinggi masing-masing sebesar 0,193 dB dan 23,633 dB. Untuk skenario 3 user masing-masing sebesar 3,714 dB dan 27,154 dB. Sedangkan skenario 4 user masing-masing sebesar 6,213 dB dan 29,401 dB.

### 3.3 Perbandingan BER Terhadap SNR

Setelah memperoleh nilai SNR, maka nilai BER DCO-OFDM dapat dicari dengan menggunakan Persamaan (3) sebagai berikut:

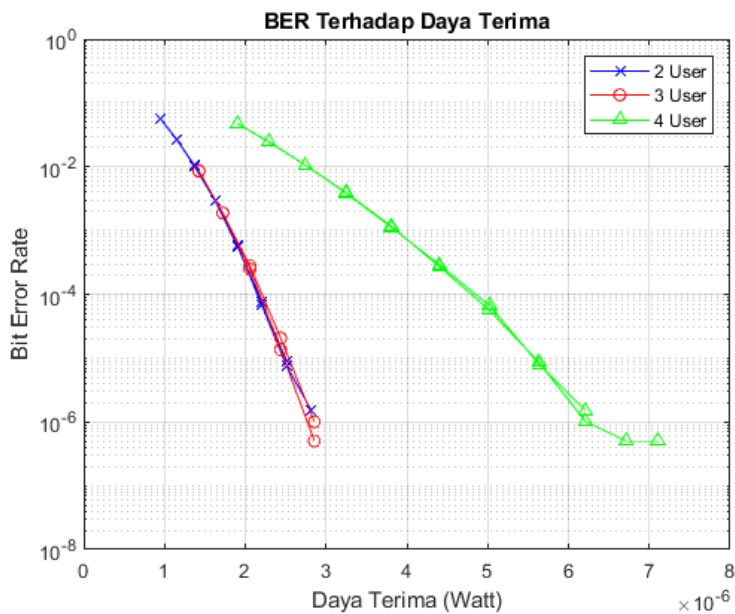
$$BER_{DCO-OFDM} = \text{erfc} \sqrt{SNR} \quad (3)$$



**Gambar 4.** Grafik Perbandingan BER Terhadap SNR

Nilai BER pada ruangan dan perbandingannya dengan SNR dapat dilihat seperti pada Gambar 4. Nilai acuan BER sebesar  $10^{-3}$  pada skenario 2 user, 3 user, dan 4 user diperoleh dengan nilai SNR masing-masing sebesar 12 dB, 13,311 dB, dan 18,064 dB. Dari grafik di atas dapat disimpulkan bahwa hal ini dikarenakan apabila semakin tinggi total daya kirim, maka nilai SNR juga semakin besar. Perbedaan total daya kirim antara level daya terendah dan daya maksimum menandakan bahwa ada beberapa area yang memperoleh SNR yang rendah dan beberapa area lainnya memperoleh nilai SNR tinggi.

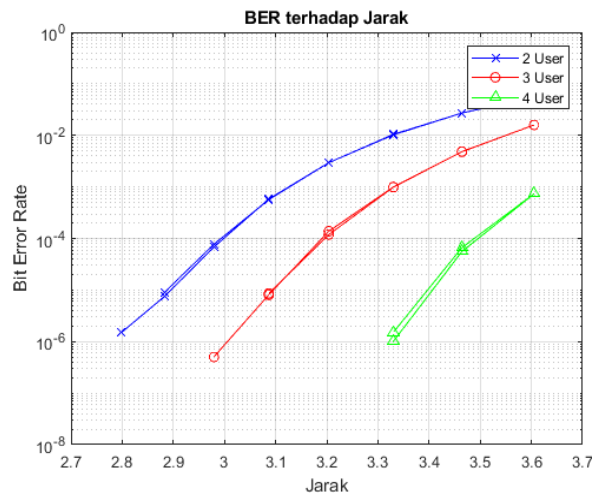
### 3.4 BER Terhadap Daya Terima



**Gambar 5.** Grafik BER Terhadap Daya Terima

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa perbandingan BER terhadap daya terima untuk skenario 2 user, 3 user, dan 4 user masing-masing bernilai  $1,16 \times 10^{-6}$  watt,  $1,99 \times 10^{-6}$  watt,  $3,95 \times 10^{-6}$  watt. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa semakin besar daya terima maka semakin kecil BER yang diperoleh. Hal ini disebabkan semakin besar daya terima maka daya sinyal pada perangkat *photodetector* semakin besar.

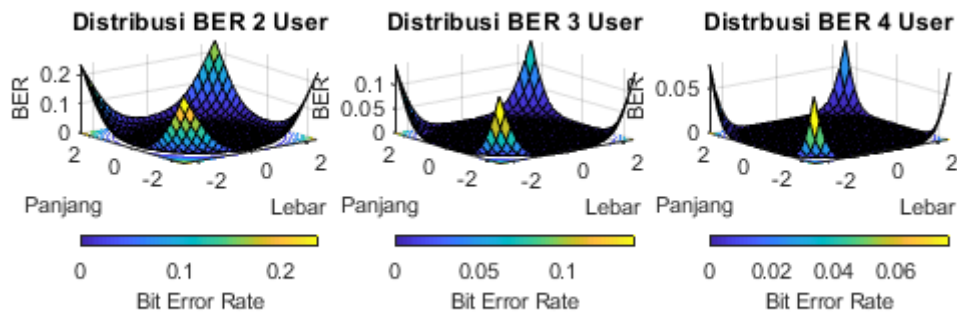
### 3.5 BER Terhadap Jarak



Gambar 6. BER Terhadap Jarak

Gambar 6 merupakan grafik yang menunjukkan bahwa semakin besar jarak maka nilai BER yang dihasilkan juga akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena posisi *receiver* yang semakin jauh dengan *transmitter* akan mengakibatkan data yang dikirimkan tidak akan dapat diterima dengan baik oleh *receiver*.

### 3.6 Distribusi BER di Ruang



Gambar 7. Distribusi BER di Ruang

Gambar 7 merupakan hasil analisis BER di ruang yang direpresentasikan dalam bentuk tiga dimensi. Semakin dekat penerima dengan sumber cahaya dalam dimensi ruang yang berukuran  $5 \times 5 \times 3$  m, maka nilai BER akan semakin kecil, yang berarti data yang diterima akan semakin besar. Distribusi BER pada ruang dengan 2 *user*, 3 *user*, dan 4 *user* masing-masing bernilai  $7,44 \text{ m}^2$ ,  $12,84 \text{ m}^2$ , dan  $16,6 \text{ m}^2$ . Terdapat perbedaan nilai distribusi BER pada ruang dengan jumlah *user* yang berbeda. Semakin besar total daya kirim maka semakin besar pula *coverage area* dari nilai BER di ruang.

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa daya terima paling besar diperoleh pada skenario dengan 4 *user* yakni sebesar  $3,5 \times 10^{-6}$  watt dengan total daya kirim sebesar 2 watt. Ketika daya semakin besar maka nilai BER semakin besar pula. Hal ini disebabkan semakin besar daya terima maka daya sinyal pada perangkat *photodetector* semakin besar. Adapun nilai SNR maksimum yang diperoleh dari simulasi adalah sebesar 29,401 dB pada skenario 4 *user*. Peningkatan nilai SNR berbanding lurus dengan total daya kirim, apabila total daya kirim besar maka nilai SNR akan semakin tinggi. Perbedaan total daya kirim antara level daya terendah dan daya maksimum menandakan terdapat ada beberapa area yang memperoleh nilai SNR yang tinggi dan beberapa area lainnya memperoleh nilai SNR yang rendah. Dalam kondisi ruang tertutup dengan asumsi tidak ada interferensi dari luar, nilai BER sebesar  $10^{-3}$  dapat diperoleh pada skenario 2 *user* sampai dengan 4 *user* dengan melakukan optimasi pada parameter sistem.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Allah SWT, keluarga, dan semua pihak yang telah terlibat dalam penelitian ini serta terus memberikan dukungan dan motivasi, terutama kepada Bapak Ir. Akhmad

Hambali M.T dan Bapak M. Irfan Maulana S.T.,M.T. atas arahan dan bimbingannya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Arnon, S. (2015). *Visible Light Communication*. United Kingdom: Cambridge University Press.
- C. W. Chow, H. Y. (2018). Pre-Distortion Scheme to Enhance the Transmission Performance of Organic Photo-Detector (OPD) Based Visible Light Communication (VLC). *IEEE Access*, 6, 7625-7630.
- Khan, L. U. (2016). Visible Light Communication: Applications, Architecture, Standardization and Research Challenges. *Digital Communications and Networks*.
- Lijun Deng, Y. F. (2018). A novel PAPR reduction scheme for VLC DCO-OFDM systems. *Optics Communication*, 426, 164-169.
- M. S. A. Mossaad, S. H. (2015). Visible Light Communications Using OFDM and. *IEEE Trans. Commun.*, 63, 4304-4313.
- O. Z. Alsulami, M. T. (2019). Infrared uplink design for visible light. *17th IEEE Int. Conf. Embed. Ubiquitous Comput.*, 57-60.
- Y. Yang, Z. Z. (2017). An Amplify-and-Forward based OFDM System for VLC. *IEEE Glob. Commun. Conf. GLOBECOM 2017, 2018-January*, 1-6.
- Y. Yang, Z. Z. (2019). A Relay-Assisted OFDM System for VLC Uplink Transmission. *IEEE Transactions On Communications*, 67, 6268-6281.