

ANALISIS PERANCANGAN VLC INDOOR DENGAN METODE ACO-OFDM

ANALYSIS OF INDOOR VLC DESIGN WITH ACO-OFDM METHOD

Nadia Herma Wati¹, Kris Sujatmoko², Akhmad Hambali³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

nadiahermawati@student¹, krissujatmako@², ahambali@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Sistem komunikasi untuk melakukan pengiriman ataupun penerimaan data dengan memanfaatkan gelombang cahaya tampak atau sering disebut *Visible Light Communication* (VLC). Sistem VLC ini memanfaatkan lampu *Light Emitting Diode* (LED) sebagai sumber cahaya. Pada sistem komunikasi VLC ini terdapat blok *transmitter* dan blok *receiver*, setiap blok ini memiliki fungsi yang berbeda. Penelitian perancangan VLC *indoor* yang dilakukan pada Tugas Akhir ini menggunakan metode *Asymmetrically Clipped Optical-Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (ACO-OFDM). Pada Tugas Akhir ini sistem VLC menggunakan modulasi ACO-OFDM dengan menggunakan *transmitter* sebanyak 3, 4, dan 5 buah *transmitter*. Terjadi kenaikan yang signifikan pada 5 buah *transmitter*. Pada distribusi daya dan nilai SNR jika menggunakan 5 *transmitter* yaitu sebesar 467.04% pada bit rate 10 Mbps dan 1 Gbps. Namun pada nilai jarak saat BER bernilai 10^{-3} tidak terlalu signifikan, pada bit rate 10 Mbps tidak terjadi perubahan, sedangkan pada 1 Gbps terjadi perubahan sebesar 25.09%. Pengaruh jumlah *transmitter* terhadap distribusi daya, SNR dan BER pada sistem VLC disajikan didalam Tugas Akhir ini.

Kata Kunci: *Visible Light Communication, Assymmetrically Clipped Optical- Orthogonal Frequency Division Multiplexing, Bit Error Rite, Signal to Noise Ratio.*

Abstract

Communication system to send or receive data using visible light waves or often called Visible Light Communication (VLC). This VLC system utilizes Light Emitting Diode (LED) as a light source. In this VLC communication system, there are transmitter block and receiver block, each of these blocks has a different function. The indoor VLC design research conducted on this thesis uses the Asymmetrically Clipped Optical-Orthogonal Frequency Division Multiplexing (ACO-OFDM) method. In this thesis VLC system uses ACO-OFDM modulation using transmitter many as 3, 4, and 5 transmitters. There was a significant increase in the 5 transmitters. In the power distribution and SNR value if using 5 transmitters, which is 467.04% at bit rates of 10 Mbps and 1 Gbps. But at the distance value when BER is worth 10^{-3} is not very significant, at the bit rate of 10 Mbps there is no change, while at 1 Gbps there is a change of 25.09%. The effect of the number of transmitters on power ditribution, SNR and BER on the VLC system is presented in this thesis.

Keywords: *Visible Light Communication, Assymmetrically Clipped Optical- Orthogonal Frequency Division Multiplexing, Bit Error Rite, Signal to Noise Ratio*

1. Pendahuluan

Pada zaman sekarang ini penelitian mengenai *Visible Light Communication* (VLC) berkembang secara pesat. VLC menyediakan komunikasi nirkabel optik jarak pendek dengan menggunakan cahaya dari *Light Emitting Diode* (LED). LED dapat dimanfaatkan sebagai pencahayaan dan komunikasi data[1]. LED digunakan sebagai *transmitter* dalam sistem VLC. *Phospor white* LED memiliki kecepatan data yang mencapai 1Gbps pada jarak 1 meter pada transmisi ruang bebas[2]. Cahaya yang dipancarkan LED tidak koheren dan LED merupakan perangkat optik yang *nonlinier* dengan *bandwidth* yang terbatas, sehingga diperlukan skema modulasi dengan efisiensi spektrum yang tinggi untuk sistem VLC berbasis LED[3].

Kecepatan *rate* data pada sistem VLC biasanya dibatasi oleh *bandwidth*. Standar VLC pada IEEE 802.15.7 terdapat tiga mode lapisan fisik (PHY) yang berbeda serta skema modulasi yang berbeda juga. Mode PHY I dan PHY II menggunakan skema modulasi *On-Off Keying* (OOK) dan *Variabel Pulse-Position Modulation* (VPPM), dan mode PHY III menggunakan skema modulasi *Colour Shift Keying* (CSK). Pada PHY I dan PHY II *rate* data tertinggi yang dihasilkan sebesar 10 Mbps, namun pada PHY III menghasilkan *rate* data tertinggi sebesar 96 Mbps[4]. Akhir-akhir ini penelitian fokus pada skema modulasi *multicarrier* untuk mengatasi *bandwidth* yang

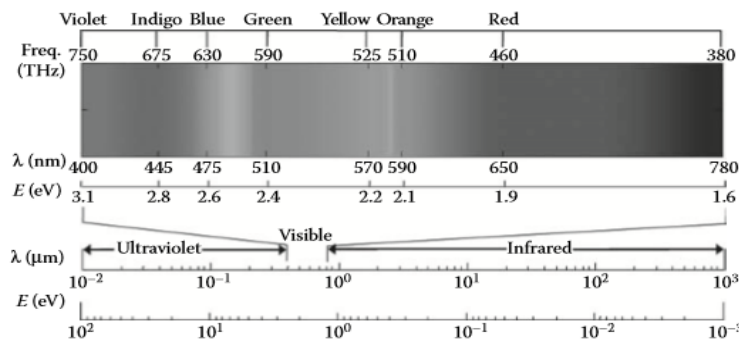
terbatas serta mendapatkan kecepatan *rate* data yang tinggi. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) belakangan ini menjadi skema modulasi yang sering digunakan pada sistem VLC. Modulasi OFDM lebih efisiensi spektrum dan juga tahan terhadap *intersymbol Interference* (ISI) dari *multipath propagation* ataupun *bandwidth* sistem yang terbatas. OFDM juga dapat memungkinkan meningkatkan *rate* data[4]. Pada modulasi OFDM untuk menghasilkan sinyal *non-negatif* dibutuhkan beberapa cara diantaranya DC *Biased Optical*-OFDM (DCO-OFDM) dan *Asymmetrically Clipped Optical*-OFDM (ACO-OFDM). Pada ACO-OFDM dilakukan pemotongan sinyal agar menghasilkan sinyal *non-negatif*. Efisiensi penggunaan *bandwidth* dari ACO-OFDM jauh lebih rendah dari pada DCO-OFDM[3].

Dari permasalahan diatas, pada Tugas Akhir ini penulis akan melakukan pengujian terhadap performansi VLC dengan menggunakan modulasi ACO-OFDM pada objek didalam ruangan berukuran 6 x 6 x 4 meter, serta menggunakan kanal *Line Of Sight* (LOS) pada banyak *transmitter* yaitu sebanyak 3, 4 dan 5 *transmitter* dan bit *rate* yang di uji yaitu 10 Mbps dan 1 Gbps. Tugas Akhir ini menganalisis performansi daya terima, *Bit Error Rate* (BER) dan *Signal to Noise Ratio* (SNR) pada sistem VLC dengan membuat perbandingan sehingga dapat diketahui hasil BER dan SNR pada setiap percobaan banyak *transmitter* tersebut.

2. Dasar Teori

2.1 Visibel Light Communication (VLC)

VLC merupakan sistem yang menggunakan LED untuk melakukan komunikasi data. LED merupakan sumber cahaya yang digunakan untuk mengirim data dari *Transmitter* ke *Receiver*. Teknologi ini memilih menggunakan LED sebagai sumber cahaya karena kecerahan yang tinggi, *bandwidth* yang besar atau data *rate*, keamanan data

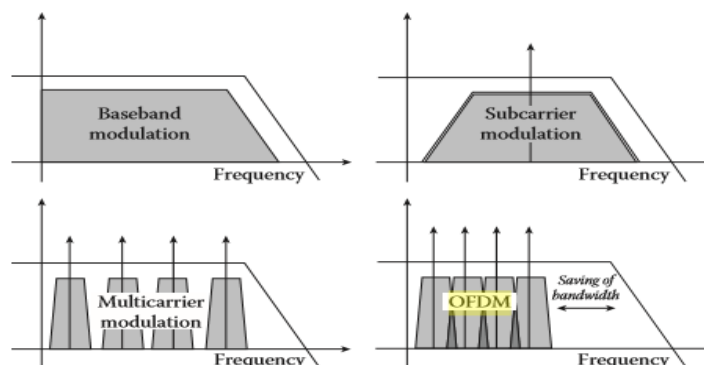


terjamin dan daya yang diserap rendah dibandingkan lampu neon[4]. VLC menggunakan cahaya tampak sebesar 400 THz (375 nm) sampai 800 THz (780 nm)[4]. Berikut spektrum cahaya yang membedakan sistem VLC dengan sistem komunikasi lainnya[7]. VLC ini dapat di aplikasikan di *indoor* maupun *outdoor*. VLC relatif lebih aman dari penyadap potensial karena radiasi optik sangat terbatas dan tidak menembus dinding[7].

Gambar 2. 1 Spektrum Cahaya[7]

2.2 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

OFDM merupakan teknik transmisi *multicarrier*, dimana teknik ini lebih efisien dibandingkan modulasi *baseband*. Pada sistem VLC modulasi yang sering digunakan yaitu modulasi OFDM, hal ini dikarenakan efisiensi spektral yang lebih baik dibandingkan modulasi *Phase Shift Keying* (PSK), *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM). OFDM juga memiliki ketahanan terhadap interferensi antar simbol yang dihasilkan dari propogasi



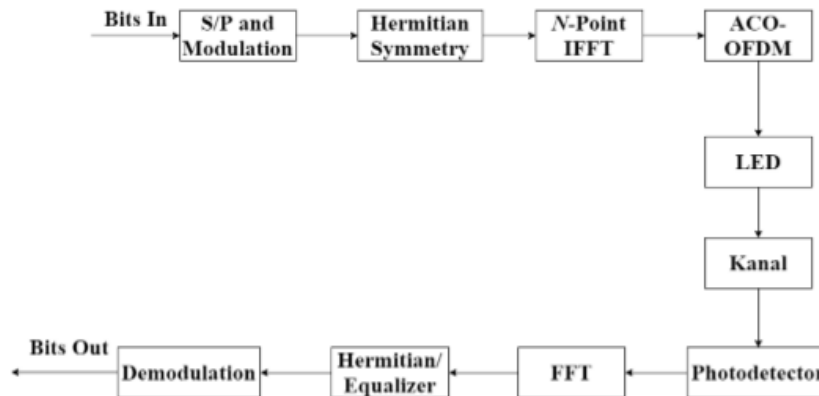
multipath. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menghasilkan sinyal keluaran OFDM agar bersifat *unipolar*, hanya sinyal yang bersifat positif yang ditransmisikan, seperti DC- *biased Optical* (DCO) dan

Assymmetrically Clipped Optical (ACO). OFDM mengalami distorsi *nonliniar* oleh *Peak Average to Power Ratio (PAPR)*[9].Berikut gambar perbandingan efisiensi spektral pada berbagai jenis modulasi.[8]

Gambar 2. 2 Efisiensi Spektral Berbagai Jenis Modulasi[8]

2.3 Assymmetrically Clipped Optical (ACO)

Pada sistem ACO-OFDM sinyal yang ditransmisikan adalah sinyal positif, karena intensitas cahaya tidak bisa negatif. Cara mendapatkan sinyal positif yaitu dengan memotong sinyal original OFDM (tanpa menambahkan



arus DC) untuk *transmitter* VLC. Pada ACO-OFDM *subcarrier* yang memiliki nilai indek genap maka dibiarkan nol. ACO-OFDM menghasilkan sinyal *non-negatif* yang cocok untuk sistem VLC dengan cara hanya memodulasikan *subcarrier* frekuensi bernomor ganjil. Berikut gambar blok diagram ACO-OFDM[9].

Gambar 2. 3 Blok Diagram ACO-OFDM[9]

2.4 Penentuan Parameter

Pada Tugas Akhir ini ada beberapa parameter yang digunakan dalam perancangan VLC dengan metode ACO-OFDM yang terdapat pada Tabel 2.1 dibawah ini dengan parameter-parameter yang telah ditentukan menjadi pedoman atau acuan pada sistem VLC yang dirancang dan disimulasikan.

Tabel 2. 1 Parameter sistem

PARAMETER	NILAI
Ukuran Ruang	6 x 6 x 4 meter
Jenis <i>Transmitter</i>	Lampu LED
Jumlah LED	3 lampu, 4 lampu, dan 5 lampu
Koordinat 3 buah LED	(-1.5, -1.5, 4), (0.5, -2, 4) dan (2, 1, 4)
Koordinat 4 buah LED	(-1.25, 1.25, 4), (-1.25, -1.25, 4), (1.25, -1.25, 4) dan (1.25, 1.25, 4)
Koordinat 5 buah LED	(-1.25, 1.25, 4), (-1.25, -1.25, 4), (1.25, -1.25, 4), (1.25, 1.25, 4), dan (-1.5, -1.5, 4)
Koordinat <i>Receiver</i>	-2.5, -2.5, 1.85
Kanal	LOS
Daya total lampu	4 Watt
FOV	77°
Responsitivitas	0,85 A/W
Jumlah Bit	10 ⁶ Bit
Area Detector	1cm ²
Bit <i>Rate</i>	10 Mbps dan 1 Gbps
BER	10 ⁻³
MAPPER	16-QAM
Jumlah <i>Subcarriers</i>	256
Jumlah simbol untuk I/FFT	128

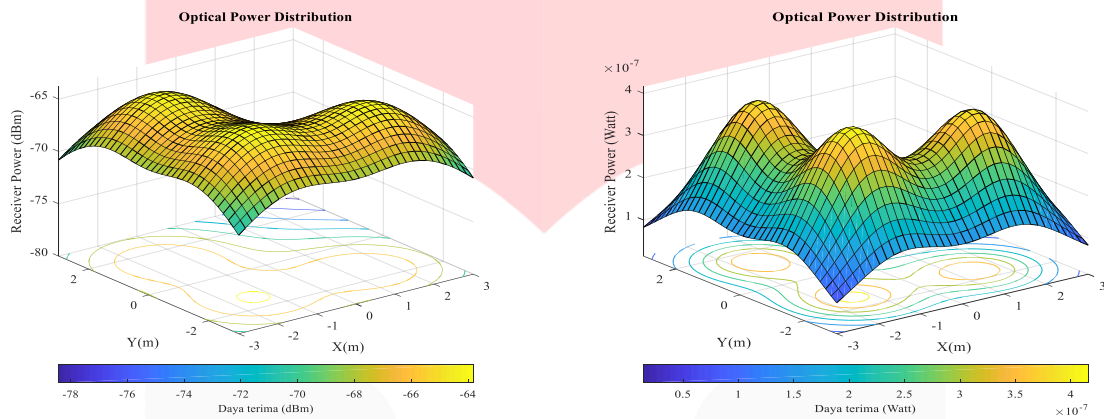
2.5 Skenario Penelitian

Pada Tugas Akhir ini terdapat tiga skenario perancangan sistem VLC dengan menggunakan *transmitter* yang lebih dari satu. Skenario ini dirancang untuk melihat hasil BER yang dihasilkan, serta melihat nilai SNR yang dihasilkan. Penelitian Tugas Akhir ini dilakukan pada ruangan tertutup yang berukuran 6 x 6 x 4 meter dengan menggunakan 3, 4, dan 5 lampu.

3. Pembahasan

3.1 Hasil Simulasi Sistem VLC menggunakan 3 Lampu

Berikut merupakan hasil simulasi berupa gambar grafik distribusi daya, SNR serta BER yang dihasilkan dari sistem VLC *indoor* pada ruangan berukuran 6 x 6 x 4 meter dengan metode ACO-OFDM yang sudah dirancang dan daya total 3 Lampu sebesar 4 watt. Berikut hasil simulasi untuk 3 lampu.

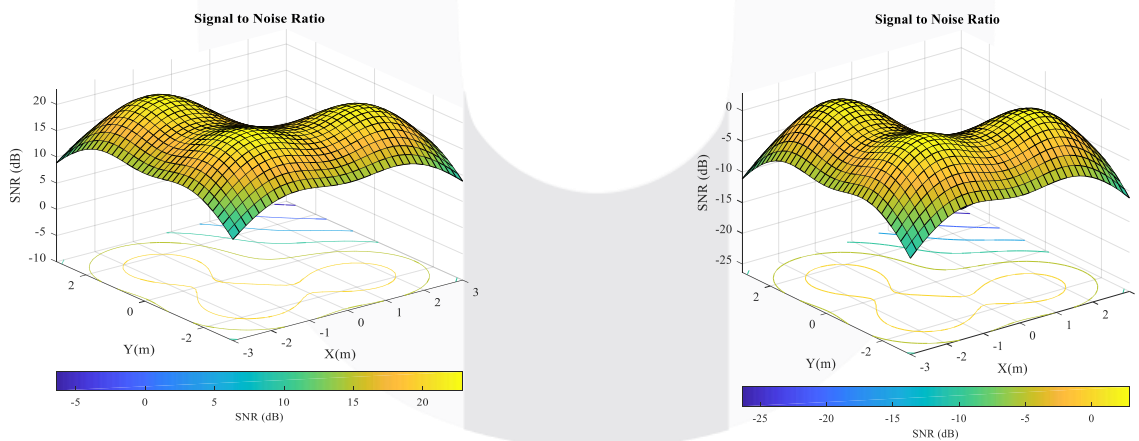


(a) Distribusi Daya 3 Lampu Bit Rate 10 Mbps

(b) Distribusi Daya 3 Lampu Bit Rate 1 Gbps

Gambar 3. 1 Distribusi Daya LED 3 Lampu dengan Daya Total 4 Watt

Pada saat ketiga LED memiliki daya total 4 Watt, pada bit *rate* menghasilkan daya *output* maksimal sebesar -63.8131 dBm dan pada bit *rate* 1 Gbps menghasilkan daya *output* minimal sebesar -63.8130 dBm.

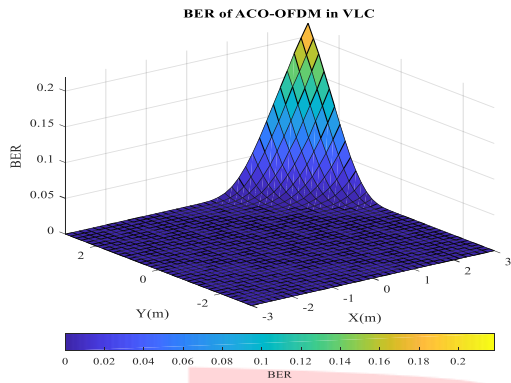


(a) SNR 3 Lampu Bit Rate 10 Mbps

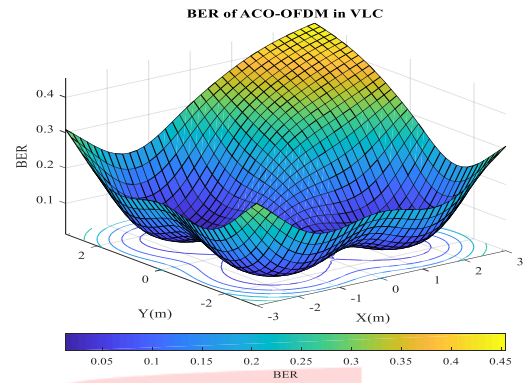
(b) SNR 3 Lampu Bit Rate 1 Gbps

Gambar 3. 2 Nilai SNR Untuk 3 Lampu

Dari Gambar 3.2 nilai maksimum rasio SNR pada bit *rate* 10 Mbps sebesar 22.8575 dB dan pada bit *rate* 1 Gbps menghasilkan SNR maksimum sebesar 2.8575 dB.



(a) BER 3 Lampu Pada Bit Rate 10 Mbps

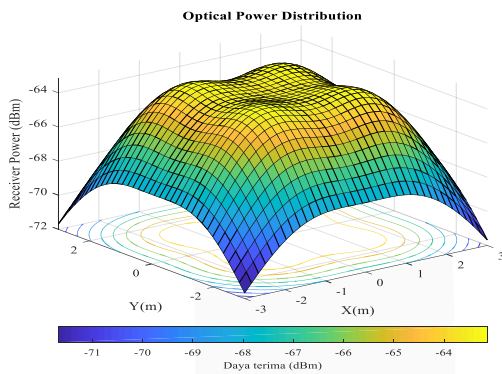


(b) BER 3 Lampu Pada Bit Rate 1 Gbps

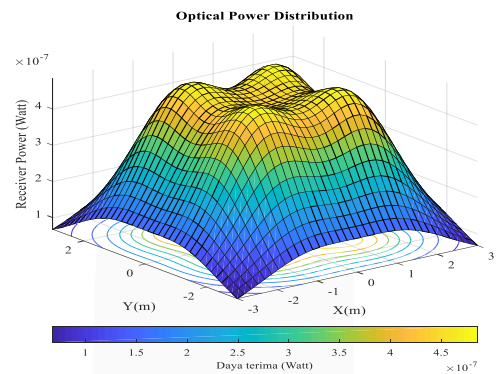
Gambar 3.3 Coverage Area BER dengan 3 Lampu

Dalam sistem VLC nilai BER memiliki standar yaitu tidak lebih dari 10^{-3} . Pada gambar diatas BER yang mendekati nilai 10^{-3} bit rate 10 Mbps terletak pada jarak 5.0649 m dan pada bit rate 1 Gbps terletak pada jarak 3.6564 m.

3.2 Hasil Simulasi Sistem VLC menggunakan 4 Lampu



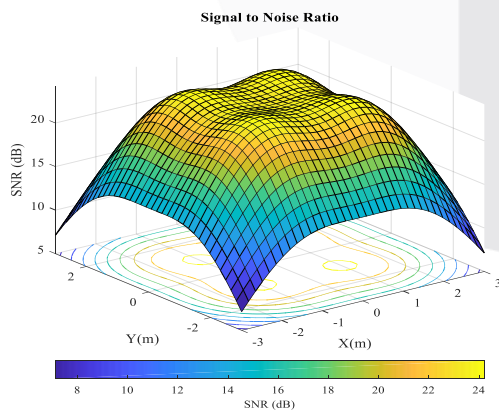
(a) Distribusi Daya 4 Lampu Bit Rate 10 Mbps



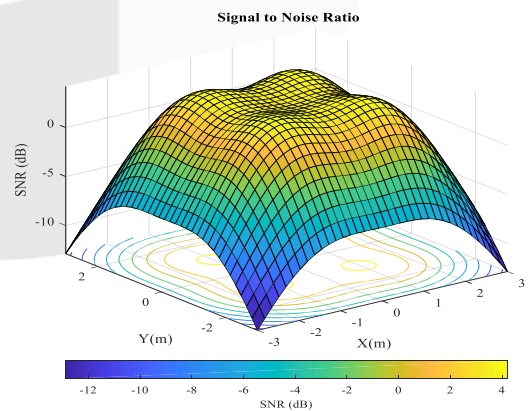
(b) Distribusi Daya 4 Lampu Bit Rate 1 Gbps

Gambar 3.4 Distribusi Daya LED 4 Lampu dengan Daya Total 4 Watt

Pada saat menggunakan 4 lampu dengan daya input total 4 Watt menggunakan bit rate 10 Mbps menghasilkan daya output maksimal sebesar -63.8131 dBm dan pada bit Rate 1 Gbps daya output minimal sebesar -63.1375 dBm.



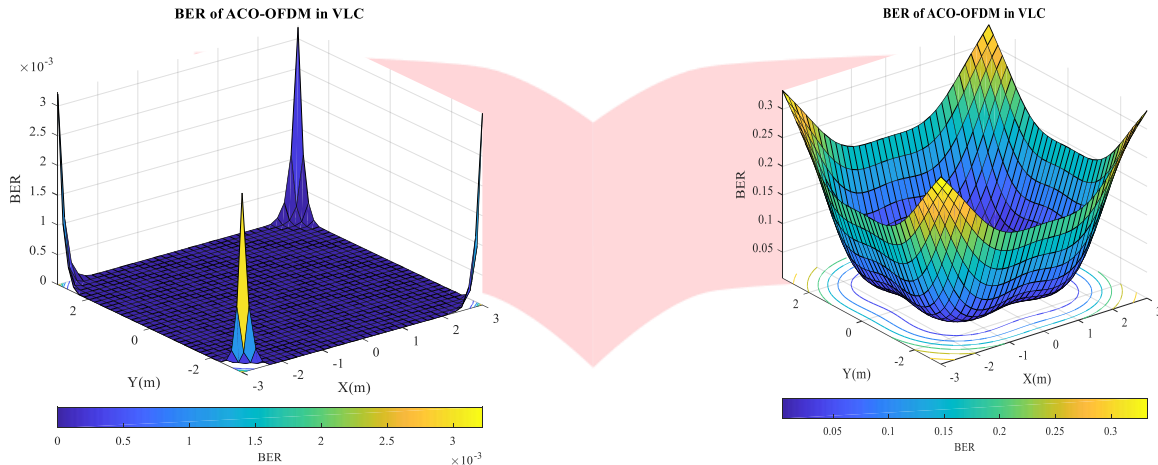
(a) SNR 4 Lampu Bit Rate 10 Mbps



(b) SNR 4 Lampu Bit Rate 1 Gbps

Gambar 3.5 Nilai SNR Untuk 4 Lampu

Pada Gambar 3.5 nilai minimum rasio SNR pada bit *rate* 10 Mbps sebesar 24.2083 dB dan pada bit *rate* 1 Gbps sebesar 4.2083 dB.



(a) BER 4 Lampu Bit Rate 10 Mbps

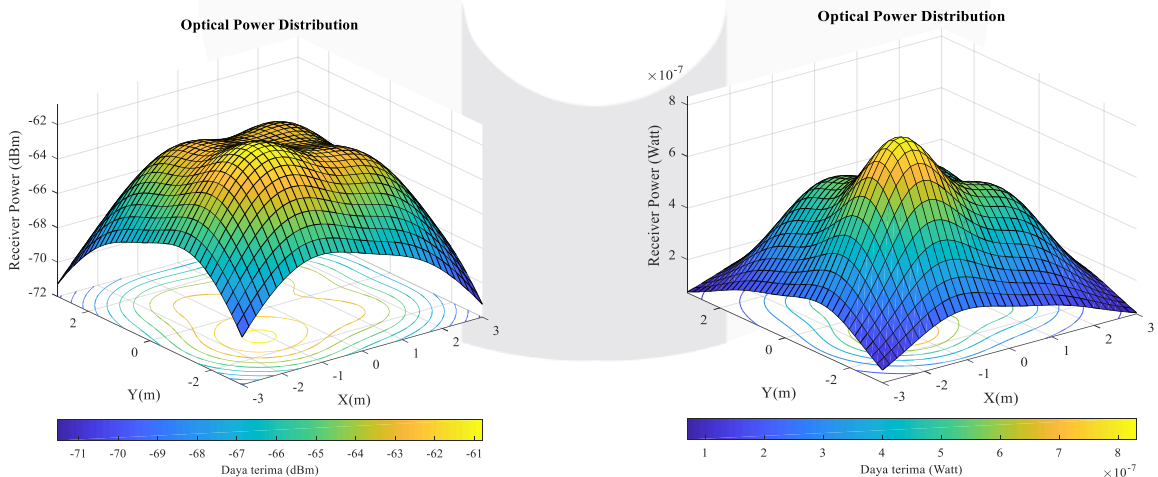
(b) BER 4 Lampu Bit Rate 1 Gbps

Gambar 3. 6 Coverage Area BER dengan 4 Lampu

Dalam sistem VLC nilai BER memiliki standar yaitu tidak lebih dari 10^{-3} . Pada gambar diatas BER yang bernilai 10^{-3} pada bit *rate* 10 Mbps terletak pada jarak 6.3834 m dan pada bit *rate* 1 Gbps terletak pada jarak 3.7736 m.

3.3 Hasil Simulasi Sistem VLC menggunakan 5 Lampu

Daya *output* maksimal dapat dilihat pada grafik yang berwarna kuning pada bit *rate* 10 Mbps memiliki nilai sebesar -60.8023 dBm. Kemudian daya *output* maksimal pada bit *rate* 1 Gbps sebesar -60.8023 dBm. Pada gambar dapat dilihat besar nilai daya yang diterima oleh *receiver*. Terlihat pada Gambar 4.7

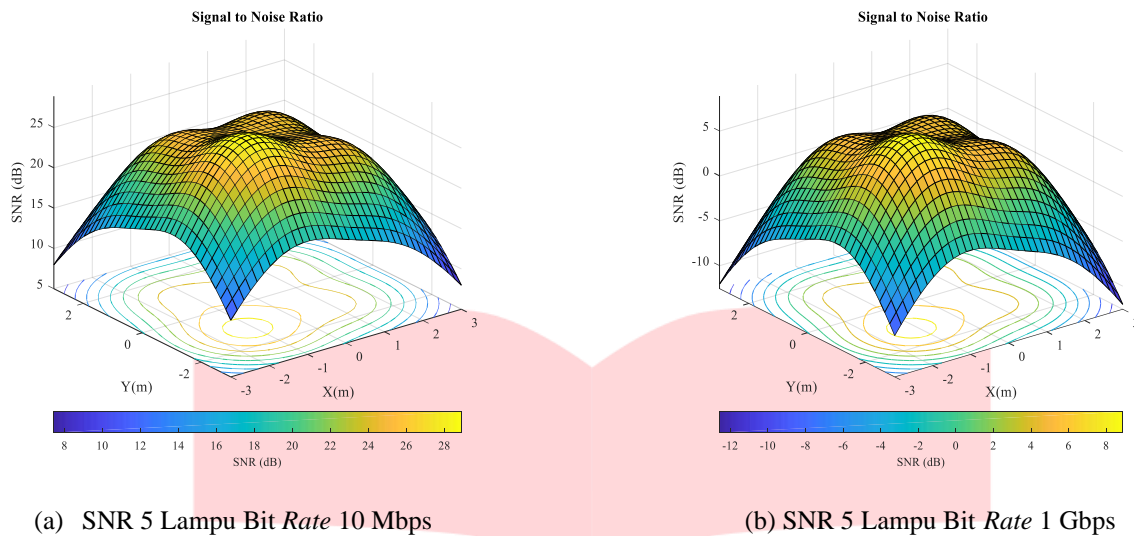


(a) Distribusi Daya 5 Lampu Bit Rate 10 Mbps

(b) Distribusi Daya 5 Lampu Bit Rate 1 Gbps

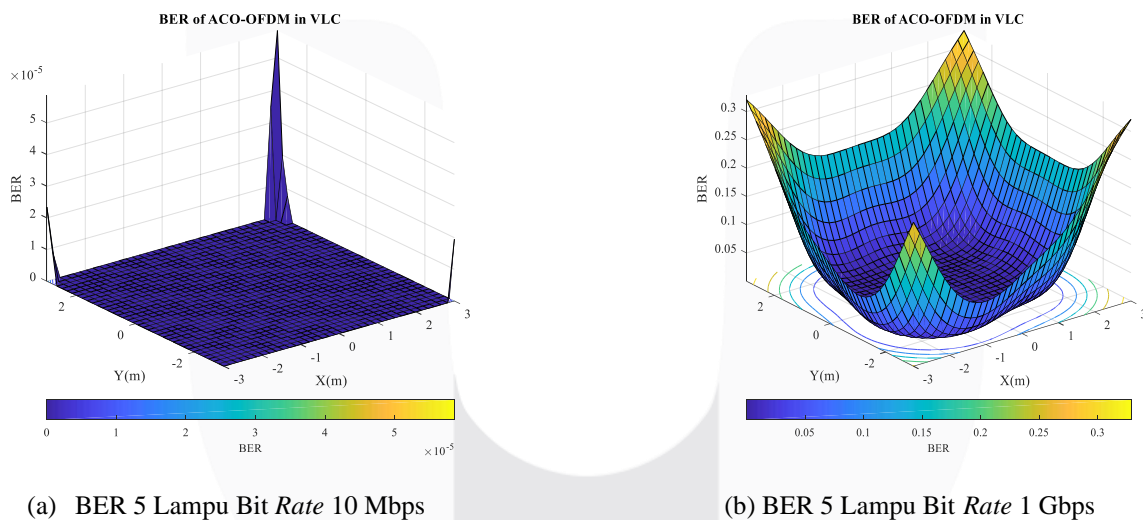
Gambar 3. 7 Distribusi Daya LED 5 Lampu dengan Daya Total 4 Watt

Pada Gambar 3.8 nilai minimum rasio SNR pada bit rate 10 Mbps sebesar 28.8787 dB dan pada bit rate 1 Gbps sebesar 8.8787 dB.



Gambar 3. 8 Nilai SNR Untuk 5 Lampu

Pada Gambar 3.9 penambahan *transmitter* dengan daya total 4 watt menjadi 5 lampu pada ruangan 6 x 6 x 4 meter menunjukkan bahwa sistem tersebut dapat menghasilkan nilai BER mendekati 10^{-3} pada bit rate 10 Mbps pada jarak 6.3834 m dan pada bit rate 1 Gbps pada jarak 4.0245 m.



Gambar 4. 9 Coverage Area BER dengan 5 Lampu

4 Penutup

4.1 Kesimpulan

1. Dari perbandingan distribusi daya yang dihasilkan pada modulasi ACO-OFDM distribusi daya terbaik adalah pada 5 *transmitter* dan bit rate 10 Mbps dan 1 Gbps dengan nilai distribusi daya sebesar -60.8023 dBm.
2. Dari perbandingan SNR yang dihasilkan pada modulasi ACO-OFDM nilai SNR terbesar adalah pada 5 *transmitter* dan bit rate 10 Mbps dengan nilai SNR sebesar 28.8787 dB dikarenakan besar daya terima lebih besar dibandingkan *transmitter* yang lain.
3. Dari perbandingan nilai jarak yang dihasilkan pada saat BER bernilai 10^{-3} dengan menggunakan modulasi ACO-OFDM nilai jarak terbesar adalah pada 4 dan 5 *transmitter* dan bit rate 10 Mbps dengan nilai jarak sebesar 6.3838 m.
4. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan terdapat perubahan yang signifikan pada daya terima dan nilai SNR jika menggunakan 5 *transmitter* yaitu sebesar 467.04% pada bit rate 10 Mbps dan 1 Gbps. Namun

pada nilai jarak saat BER bernilai 10^{-3} tidak terlalu signifikan, pada bit *rate* 10 Mbps tidak terjadi perubahan, sedangkan pada 1 Gbps terjadi perubahan sebesar 25.09%.

5. Berdasarkan hasil analisis jumlah *transmitter* yang ideal yaitu 5 *transmitter*. Jika dilihat dari nilai performansi VLC bit *rate* yang bagus digunakan adalah 10 Mbps, namun jika dilihat dari kecepatan pengiriman data lebih baik menggunakan 1 Gbps. Pada bit *rate* 1 Gbps nilai performansi VLC tidak terlalu buruk.

4.2 Saran

1. Melakukan perancangan dan simulasi menggunakan modulasi yang lain seperti DCO- OFDM, U-OFDM ataupun teknik modulasi selain OFDM.
2. Menggunakan letak posisi LED, jumlah lampu LED yang digunakan serta jenis kanal yang berbeda dengan penelitian yang sudah ada.
3. Mempersempit atau memperluas dimensi ruangan yang digunakan.

REFERENSI

- [1] Z. Che *et al.*, "A Physical-Layer Secure Coding Scheme for Indoor Visible Light Communication Based on Polar Codes," *IEEE Photonics J.*, vol. 10, no. 5, pp. 1–13, 2018, doi: 10.1109/JPHOT.2018.2869931.
- [2] C. W. Hsu, C. W. Chow, I. C. Lu, Y. L. Liu, C. H. Yeh, and Y. Liu, "High Speed Imaging 3×3 MIMO Phosphor White-Light LED Based Visible Light Communication System," *IEEE Photonics J.*, vol. 8, no. 6, pp. 1–6, 2016, doi: 10.1109/JPHOT.2016.2633395.
- [3] J. Lian and M. Brandt-Pearce, "Polarity-Header Optical OFDM for Visible Light Communication Systems," *IEEE Photonics J.*, vol. 11, no. 5, 2019, doi: 10.1109/JPHOT.2019.2937302.
- [4] M. Nakagawa, *Visible Light Communications*, vol. 60, no. 12. 2006.
- [5] D. Hariangga Trihantoro, *Implementasi Visible Light Commun. Untuk Pengiriman Teks*, p. 5, 2014.
- [6] Z. Ghassemloooy, W. Popoola, and S. Rajbhandari, *Optical wireless Communication System and Channel Modelling with MATLAB*, 13th ed. 2013.
- [7] D. O'Brien *et al.*, *Visible Light Communications*, vol.1,no.9. 2009.
- [8] N. F. Farabi *et al.*, "Communication Design and Simulation Aco Ofdm for Visible Light Communication," vol. 6, no. 1, pp. 995–1001, 2019.
- [9] P. Indra Muhammad, "ANALYSIS OF VISIBLE LIGHTS COMMUNICATIONS SYSTEM WITH MULTIPLE TRANSMITTER," no. Vlc, 2019.
- [10] P. Pratama, *Simulasi Penguji. Tek. Modul. ACO-OFDM pada Orientasi Penerima Untuk Teknol. Visible Light Commun.*, no. 1, p. 33, 2020.
- [11] P. Jhon G and S. Masoud, *Contemporary Communication Systems using Matlab - Proakis and Salehi.pdf*. PWS Publishing Company.
- [12] X. Zhang, Q. Wang, R. Zhang, S. Chen, and L. Hanzo, "Performance Analysis of Layered ACO-OFDM," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 18366–18381, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2748057.
- [13] A. Hanafiah, "Teknologi Serat Optik," *J. Sist. Tek. Ind.*, vol. 7, no. 1, pp. 87–91, 2006.