

## EVALUASI KINERJA PULSE WIDTH MODULATION (PWM) TERHADAP INTERFERENSI CAHAYA MATAHARI UNTUK VLC

### PERFORMANCE EVALUATION OF PULSE WITHD MODULATION (PWM) OF VLC WITH SUNLIGHT INTERFERENCE

DewiAfrianti<sup>1</sup>, AkhmadHambali<sup>2</sup>, BrianPamukti<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>dewiafrianti@student.telkomuniversity.ac.id, <sup>2</sup>akhmadhambali@telkomuniversity.ac.id,

<sup>3</sup>brianpamukti@telkomuniversity.ac.id

#### Abstrak

Tugas Akhir ini melakukan penelitian terhadap pengaruh interferensi cahaya matahari terhadap teknologi *Visible Light Communication* (VLC) yang menerapkan modulasi *Pulse Width Modulation* (PWM). Tugas Akhir ini mempertimbangkan jarak antara *transmitter* ke *receiver*, serta menggunakan satu buah *Light Emitting Diode* (LED) berdaya 10 Watt. Model ruangan yang disimulasikan dalam Tugas Akhir ini berukuran 5 m x 5 m x 3 m. Tugas Akhir ini melakukan evaluasi kinerja VLC yang mengalami interferensi dari cahaya matahari dengan kriteria *Bit Error Rate* (BER) sebelum dan sesudah terkena interferensi cahaya matahari. Parameter yang digunakan adalah *Signal to Noise Power Ratio* (SNR), dan *Signal to Interference plus Noise Ratio* (SINR) yang dihitung dengan komputer untuk evaluasi BER. Hasil Tugas Akhir ini menunjukkan bahwa interferensi cahaya matahari menurunkan kinerja sistem VLC dari sisi BER. Dengan ukuran ruangan yang digunakan, cahaya matahari menyebabkan turunnya SNR sebesar 1,28 % dari 33,629 dB menjadi 37,931 dB. Penurunan ini tidak signifikan karena nilai BER hanya turun dari  $3 \times 10^{-13}$  menjadi  $7,39 \times 10^{-11}$ , sehingga interferensi cahaya matahari dalam komunikasi VLC secara umum bisa diabaikan.

Kata kunci : VLC, PWM, Interferensi, SNR, SINR, BER

#### Abstract

This thesis evaluates the effect of sunlight interference on *Visible Light Communication* (VLC) technology applying *Pulse Width Modulation* (PWM) modulation. This thesis considers the distance between transmitter to the receiver and using a single *Light Emitting Diode* (LED) with 10 watts of power. Size of the room model simulated in this thesis is 5 m x 5 m x 3 m. This thesis also conducts a performance evaluation of VLC exposing interference from sunlight in terms of *Bit Error Rate* (BER) with and without sunlight interference. The parameter is *Signal to Noise Power Ratio* (SNR) and *Signal to Interference plus Noise Ratio* (SINR) calculated with computer for BER performance evaluation. The result of this thesis shows that sunlight interference weakens the performance of VLC system from BER performance. Using the room used in this research, the sunlight causes the decreasing of SNR as much 1.28 % from 33.629 dB to 37.931 dB. The decrease of performance is insignificant because the BER decreases from  $3 \times 10^{-13}$  to  $7,39 \times 10^{-11}$ , which is for below  $10^{-5}$  meaning that the sunlight interference in VLC communication is in general can be ignored.

Keywords: VLC, PWM, Interference, SNR, SINR, BER.

#### 1. Pendahuluan [10 pts/Bold]

Kemajuan teknologi komunikasi di era sekarang ini sangatlah pesat. Inovasi dan kreatifitas dikembangkan, hal ini mendasar pada kebutuhan dan penggunaan masyarakat modern. Komunikasi nirkabel salah satu teknologi yang berkembang pesat saat ini adalah *Visible Light Communication* (VLC) yang kenal sebagai teknologi dengan memanfaatkan cahaya tampak. Teknologi VLC ini memiliki keunggulan dari segi efisien, keamanan, kapasitas, performansi, dan kemampuan mobilitas. Selain itu secara umum VLC memiliki memiliki rentang frekuensi antara 400 THz (780 nm) sampai 800 THz (375 nm) dan mampu mengirimkan data dengan *bit rate* yang tinggi [3]. Gelombang *Radio frequency* (RF) ini lah yang banyak diketahui dan digunakan sebagai komunikasi nirkabel, saat ini diketahui memiliki fakta bahwa radiasi gelombang RF berpengaruh buruk terhadap kesehatan manusia [4]. Beberapa tempat tidak memperbolehkan adanya gelombang RF di dalam suatu ruangan seperti Rumah Sakit, Pesawat, Stasiun Pengisian Bahan Bakar (SPBU),

dan lingkungan Kawasan Nuklir [5].

Dalam pengembangan teknologi VLC, masih mempunyai kekurangan seperti terjadinya interferensi antar sumber penerangan lainnya, dan sumber penerangan tidak memiliki efek *flicker* atau *blink* [6]. Pemanfaatan cahaya tampak yang memiliki sifat tidak dapat menembus benda padat, salah satunya dinding ruangan, sehingga area cakupannya terbatas dan efek bayangan merupakan salah satu kekurangan, karena disebabkan oleh pemblokiran objek, seperti peralatan rumah tangga atau aktivitas manusia [7]. Karena sifat cahaya yang memiliki beamwidth sempit dalam gelombang cahaya sulit digunakan untuk komunikasi seluler [8]. VLC memiliki

Dari penelitian dengan menganalisis jangkauan pengiriman data VLC dengan meninjau interferensi dengan sumber cahaya lainnya menggunakan *transmitter* dan *Light-Emitting Diode* (LED) 10 Watt serta menerapkan *Character Error Rate* (CER) dan *Bit Error Rate* (BER), dengan hasil penelitian bahwa jangkauan dengan jarak data yang terkirim yaitu 28-45 cm dan ditambahkan penerangan lainnya tanpa informasi sebagai penginterferensi, agar tidak mengganggu sistem utama VLC dengan jarak minimal 20 cm [9]. Penelitian tentang penyaringan optik yang efisien untuk komunikasi cahaya di luar ruangan yaitu sinar matahari menganalisis metode penyaringan optik, dengan hasil bahwa komunikasi data VLC luar ruang yang lebih komprehensif untuk dibentuk dan dianalisis, serta pada kondisi siang hari pada dasarnya adalah sumber yang tidak termodulasi dengan daya rata-rata jauh lebih besar dari sinyal yang diinginkan. Oleh karena itu efek dari LED, ambient noise sangat signifikan sehingga kinerja sistem komunikasi nirkabel optik luar ruangan sangat rentan. Menimbang efek buruk dari gangguan *ambient-light*, teknik yang efisien dan praktis untuk mengurangi atau memblokir *noise* cahaya untuk aplikasi VLC luar ruangan perlu ditangani [10].

Pada Tugas Akhir ini dilakukan penelitian terhadap pengaruh yang diakibatkan oleh interferensi cahaya matahari terhadap teknologi VLC dengan menerapkan modulasi *Pulse Width Modulation* (PWM). Dengan mempertimbangkan jarak antara *transmitter* ke *receiver*, serta menggunakan satu buah LED dengan daya 5 Watt. Adapun model ruangan yang disimulasikan berukuran 5 m x 5 m x 3 m. Harapan dari penelitian ini mendapatkan analisis tentang pengaruh interferensi cahaya matahari terhadap sistem utama VLC.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Optical Wireless Communication (OWC)

*Visible Light Communication* (VLC) adalah teknologi komunikasi yang menerapkan cahaya tampak (*visible light*) dengan menawarkan *bandwidth* besar yaitu antara 400 THz (780 nm) dan 800 THz (375 nm), dan teknologi VLC dapat disebut sebagai *Light Fidelity* (Li-Fi) yang terinspirasi dari *Wireless Fidelity* (Wi-Fi) [1].

### 2.2 Visible Light Communication (VLC)

Dalam jaringan akses, terdapat beberapa teknologi yang saat ini banyak digunakan seperti kabel tembaga dan koaksial, akses Internet nirkabel, frekuensi radio *broadband* (RF) atau *microwave* dan serat optik. Teknologi-teknologi ini, terutama kabel tembaga atau koaksial dan berbasis RF, memiliki kekurangan seperti laju data yang lebih rendah, spektrum yang padat, masalah keamanan dan biaya instalasi yang tinggi dan aksesibilitas untuk semua.

### 2.3 Interferensi

Sinar matahari biasanya dari sumber gangguan terkuat dan sumber cahaya ambient yang tidak ditransformasi dengan lebar spektral yang sangat lebar dan *Power spectral density* (PSD) maksimum yang terletak di rentang 500 nm. Sinar matahari membentuk level arus latar tertinggi dan sumber utama bunyi tembakan di fotodiode penerima.

Konteks saat ini karena penerangan buatan hanya beberapa puluh  $\mu\text{A}$ , jauh di bawah yang didapatkan oleh sinar matahari yang bisa setinggi 5 mA [11].

$$N_{sol} = \left| \frac{H \cdot i(H)}{\sqrt{2}} \right| \quad (1)$$

### 2.4 Kanal Transmisi dalam VLC

Pada sistem VLC ada dua jenis konfigurasi dipertimbangkan dalam saluran nirkabel optik yaitu

*Line of Sight* (LOS) dan *Non-Line of Sight* (NLOS). LOS biasanya digunakan untuk tautan komunikasi *point-to-point* khususnya di *outdoor* dan *indoor* beberapa kasus di *indoor* juga. Link LOS yang diarahkan tidak mengalami distorsi sinyal yang diinduksi *multipath*, dan *noise* dari sumber cahaya sekitar juga sebagian besar ditolak ketika digunakan dengan penerima *field-of-view* (FOV) yang sempit.

Distribusi sudut dari pola intensitas radiasi dimodelkan menggunakan intensitas Lambertian umum dengan rumus berikut.

$$m = \frac{-\log 10(2)}{\log 10(\cos(\frac{\Phi_1}{2}))} \quad (2)$$

Emisi Lambertian berhubungan dengan LED dengan daya setengah  $\Phi_{\frac{1}{2}}$ , yaitu parameter FWHM yang bernilai 50°, serta dalam menghitung kanal LOS dapat dirumuskan dengan:

$$H = \frac{(m+1) \cdot A_{det} \cdot \cos^{(m+1)}(\Phi)}{2 \cdot \pi \cdot d^2} \quad (3)$$

dimana  $A_{det}$  yaitu area photodetektor di sisi penerima,  $d$  merupakan jarak penerima terhadap sisi pengirim, dan  $\Phi$  adalah sudut perpindahan terhadap transmitter. Untuk menghitung daya yang diterima di sisi penerima dapat dirumuskan dengan:

$$P_{rx} = P_{tot} \cdot H \cdot nLED \quad (4)$$

## 2.5 Modulasi Pulse Width Modulation (PWM)

PWM modulasi digunakan untuk mengontrol kecerahan LED dalam komunikasi cahaya tampak [12]. Berikut rumus untuk probabilitas *error* untuk modulasi PWM:

$$P_{ePWM} = \frac{1}{2} \left( \sqrt{\frac{SNR(\lambda - 2\sqrt{\lambda\rho} + 1)}{2(1 + \lambda)}} \right) \quad (5)$$

untuk sistem PWM, faktor pembentuk pulsa diubah untuk memperoleh dua pulsa dengan lebar berbeda dan amplitudo yang sama berasal dari jenis pulsa yang sama. Dalam sistem PWM, faktor-faktor pembentuk pulsa dan durasi kedua pulsa ini mengambil nilai  $\tau_{m0} = 0.28$  ns,  $\tau_{m1} = 0.4$  ns,  $T_{m0} = 0.7$  ns, dan  $T_{m1} = 1$  ns. Melalui perhitungan menggunakan parameter yang ditentukan, dapat diperoleh itu  $\rho = -0.4783$ ,  $\lambda = 0.7203$  [2].

## 2.6 Signal to Noise Power Ratio (SNR)

Kualitas sinyal secara umum didefinisikan dalam perbandingan antara daya sinyal yang diharapkan dengan sinyal derau, hal ini disebut dengan besaran *Signal to Noise Ratio* (SNR).

$$SNR = \frac{(P_{rx} \cdot R)^2}{2 \cdot q \cdot (I_p + I_d) \cdot B \cdot M^2 \cdot F(M) + 2 \cdot q \cdot I_l \cdot B + \frac{4 \cdot k_B \cdot T}{R} \cdot Be} \quad (6)$$

## 2.7 Bit Error Rate (SNR)

*Bit Error Rate* (BER) adalah perbandingan jumlah *bit error* yang diterima *receiver* terhadap jumlah bit yang dikirim. Dalam realisasinya BER sangat dipengaruhi oleh noise karena *noise* dapat menyebabkan adanya kesalahan proses deteksi

$$BER = \frac{\text{jumlah bit error}}{\text{total bit}} \quad (7)$$

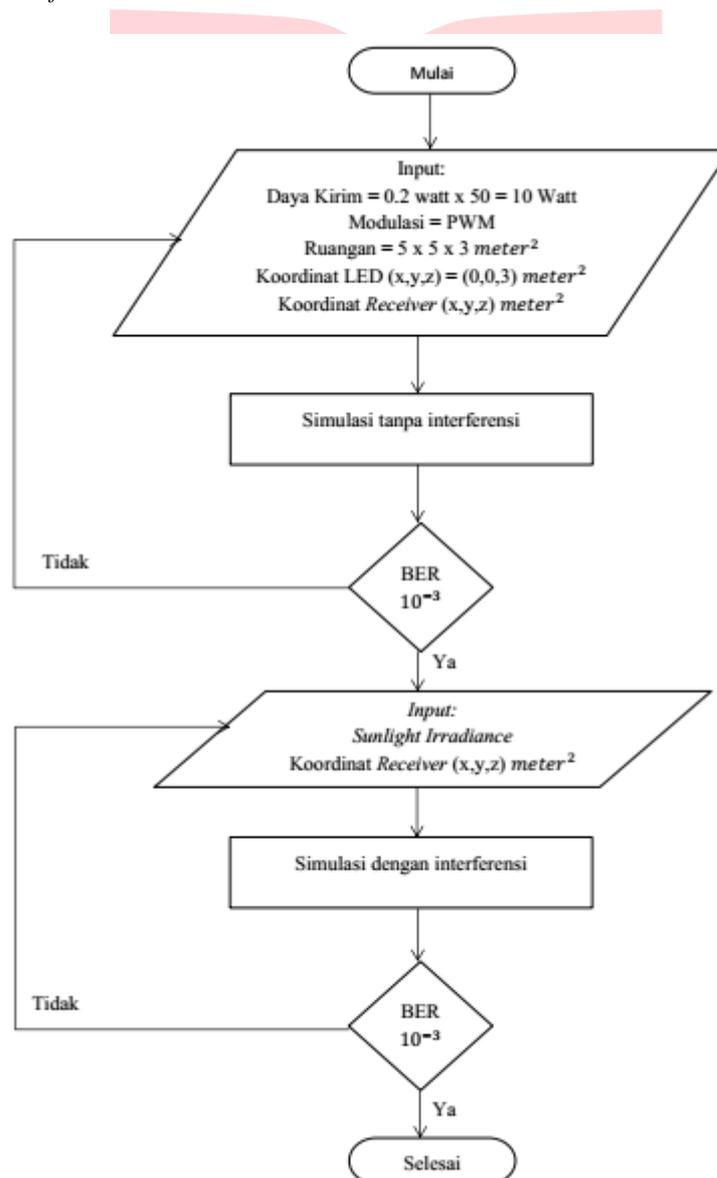
Dikatakan berjalan dengan sangat baik sistem komunikasi jika memiliki nilai toleransi yang besar yaitu.

$$BER \leq 10^{-3} \quad (8)$$

### 3. Perancangan

#### 3.2 Diagram Alir Penelitian

Pada Gambar 3.1 menguraikan alur penelitian dari Tugas akhir yang penulis lakukan, pada penelitian ini penulis melakukan input parameter sistem VLC dengan menggunakan masukan daya sebesar 0.2 Watt, serta menggunakan proses modulasi data dengan modulasi PWM, menggunakan 50 buah LED dengan kondisi tanpa interferensi dan menggunakan 50 buah LED dengan kondisi dengan interferensi dengan jenis interferensi dari cahaya matahari menggunakan jenis *White Super Flux 5 mm water clear* dengan sudut FOV  $70^\circ$  serta intensitas cahaya LED sebesar 1500-2100 mCd atau setara dengan 20 mA di dalam ruangan berdimensi  $5 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ , dengan kedua daya kirim akan dibandingkan untuk memperoleh hasil kinerja sistem VLC optimal. setelah semua parameter dimasukkan, simulasi mulai dari tanpa interferensi matahari dan dengan interferensi dijalankan pada *software*.



Gambar 1. Gambar diagram alir penelitian sistem VLC tanpa interferensi dan dengan interferensi dari cahaya matahari.

### 3.2 Parameter Input pada System VLC

Untuk mendukung dalam perancangan sistem VLC pada Tugas Akhir ini, terdapat beberapa parameter yang akan di inputkan ke simulasi. Berikut parameter input pada simulasi seperti yang ditampilkan di Tabel 1.

	Parameter	Nilai
<b>Transmitter</b>	Jenis	LED
	Jumlah	25
	Daya Kirim ( $P_{rx}$ )	0.2 W
	Koordinat	(0, 0, 3) m
	<i>Full width a half maximum (FWHM)</i>	50°
	Kanal	LOS
<b>Receiver</b>	FOV ( $\psi$ )	70°
	Responsivitas	0.55 A/W
	<i>Optical concentrator</i>	1
<b>Interferensi</b>	Jumlah Jendela	2
	Intensitas Cahaya	60 %
<b>Lain-lain</b>	Ukuran ruangan	5x5x3
	<i>Bit rate</i>	10 <sup>9</sup> Byte
	Laju bit	10 <sup>6</sup> bit
	Modulasi	PWM

Tabel 1. Tabel input parameter.

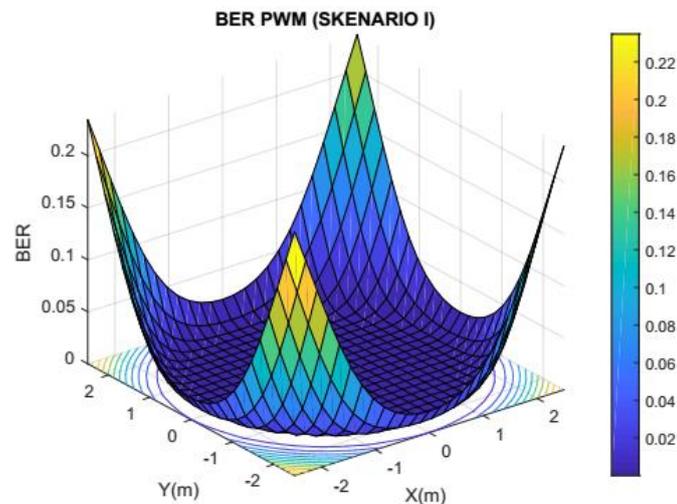
Dalam simulasi Tugas Akhir menggunakan ukuran dimensi ruangan seluas  $5 \times 5 \times 3$  meter, kemudian laju bit yang ditransmisikan bernilai 10<sup>6</sup>bit dan memiliki kecepatan data atau *Bit Rate* bernilai 10<sup>9</sup> Byte dengan menerapkan modulasi PWM.

## 4. Hasil Simulasi dan Analisis

### 4.1 Analisis Skenario I

Berdasarkan penempatan LED pada Skenario I yaitu pada koordinat (0,0,3), menunjukkan simulasi LED menggunakan daya kirim 0.2 W dengan 50 buah LED, dengan modulasi PWM tanpa adanya interferensi atau dalam kondisi LOS tanpa adanya penambahan jendela pada ruangan. Hasil dari simulasi ini berupa besar daya terima, jarak dan sudut posisi dari *transmitter* saat memenuhi maksimal BER *threshold* bernilai  $\leq 10^{-3}$ .

#### 4.1.1 Kinerja BER sistem VLC tanpa interferensi



Gambar 2. Cakupan area BER dengan modulasi PWM pada sistem VLC dalam kondisi LOS di dalam ruangan.

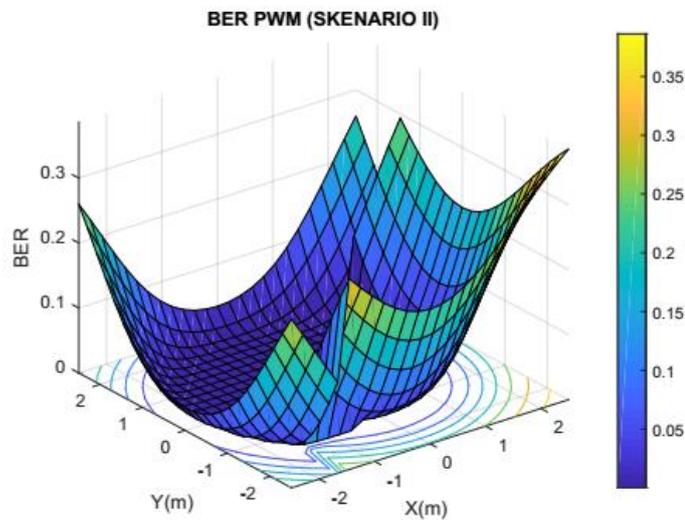
Gambar 2 memperlihatkan dimensi cakupan daerah BER dengan modulasi PWM pada sistem VLC menggunakan modulasi PWM, yang dihasilkan pada cakupan link komunikasi untuk Skenario I tanpa interferensi seluas 25 m, cakupan link komunikasi diperoleh dari penjumlahan luas dari setiap *cell grid* dari dimensi ruangan yaitu satu *cell grid* dalam dimensi ruangan memiliki luas sebesar 0,04 m. Kurva ini adalah kinerja cakupan BER 3D dengan alas panjang X(m) terhadap sumbu X seluas 5 m serta Y(m) adalah alas panjang terhadap sumbu Y seluas sama dengan X(m).

Pada sistem VLC menggunakan satu buah lampu dengan 50 buah LED mempunyai nilai minimum BER sebesar  $2,56 \times 10^{-47}$  dengan disimbolkan pada warna biru, dan nilai BER maksimum sebesar 0,234 semakin mendekati *cell* berwarna biru maka semakin bagus dan sebaliknya jika *cell* mendekati warna kuning maka semakin buruk nilai BER. Kurva yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 bahwa semakin dekat antara sumber cahaya LED dan receiver maka nilai BER akan mendekati nilai 0, dan sebaliknya semakin jauh dengan sumber cahaya, maka nilai BER melebihi nilai *threshold* maksimal  $2,56 \times 10^{-47}$ .

#### 4.2 Skenario II

Berdasarkan penempatan LED pada Skenario II yaitu pada koordinat (0,0,3), menunjukkan simulasi LED menggunakan daya kirim 0.2 W dengan 50 buah LED, dengan modulasi PWM dengan adanya interferensi dengan penambahan jendela pada ruangan dengan intensitas cahaya matahari yang masuk sebesar 60% pada koordinat di tengah ruangan. Hasil dari simulasi ini berupa besar daya terima, jarak dan sudut posisi dari transmitter saat memenuhi maksimal BER *threshold* bernilai  $\leq 10^{-3}$ .

#### 4.1.1 Kinerja BER sistem VLC dengan interferensi



Gambar 3. Cakupan area BER dengan modulasi PWM pada sistem VLC dalam kondisi interferensi di dalam ruangan.

Gambar 3 memperlihatkan dimensi cakupan daerah BER dengan modulasi PWM pada sistem VLC menggunakan modulasi PWM, yang dihasilkan pada cakupan link komunikasi untuk Skenario I tanpa interferensi seluas 25 m, cakupan link komunikasi diperoleh dari penjumlahan luas dari setiap cell grid dari dimensi ruangan yaitu satu *cell grid* dalam dimensi ruangan memiliki luas sebesar 0,04 m. Kurva ini adalah kinerja cakupan BER 3D dengan alas panjang X(m) terhadap sumbu X seluas 5 m serta Y(m) adalah alas panjang terhadap sumbu Y seluas sama dengan X (m). Pada sistem VLC menggunakan satu buah lampu dengan 50 buah LED mempunyai nilai minimum BER sebesar  $6,76 \times 10^{-38}$  dengan disimbolkan pada warna biru, dan nilai BER maksimum dalam keadaan tanpa interferensi sebesar 0,259 dan dalam keadaan terinterferensi sebesar 0,386 semakin mendekati cell berwarna biru maka semakin bagus, dan sebaliknya jika cell mendekati warna kuning maka semakin buruk nilai BER. Kurva yang ditunjukkan pada Gambar 3 terlihat bahwa dengan penambahan interferensi matahari maka akan mengurangi kinerja dari sistem VLC dengan bit error yang lebih tinggi dibandingkan dengan keadaan di ujung ruangan tanpa interferensi matahari.

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Pada Tugas Akhir ini penambahan jendela pada suatu ruangan hingga membentuk interferensi dari cahaya matahari yang masuk kedalam ruangan dapat memperburuk kinerja sistem VLC dari segi SNR dan SINR, sistem VLC tanpa interferensi lebih baik dari sistem VLC dengan interferensi. Hal ini dibuktikan dengan sistem VLC dengan perbandingan dengan interferensi memiliki SINR dengan koordinat yang sama (0, 0, 3) m yaitu sebesar 44,394 atau 37,931 dB dan sistem VLC tanpa interferensi memiliki SNR yaitu sebesar 47,606 atau 38,629 dB dengan perbandingan 1.255%.

### 5.2 Saran

Tugas Akhir ini menyarankan untuk mengevaluasi kinerja VLC dengan menggunakan modulasi PPM-PWM karena ini model terbaru dan berpengaruh lebih baik. Tugas Akhir ini juga menggunakan gain concentration untuk dapat meningkatkan kinerja sistem VLC. Evaluasi kinerja dari sistem VLC dengan penambahan *obstacle* seperti kaca, tembok dan *obstacle* lainnya juga disarankan sehingga kinerja sistem VLC menggunakan modulasi PWM dapat diketahui.

**Daftar Pustaka:**

- [1] Z. Ghassemlooy, W. Popoola, and S. Rajbhandari, *Optical wireless communications: system and channel modelling with Matlab R*. CRC press, 2017.
- [2] F. Wang, C. Xu, and Y. Zhang, "A new modulation scheme for ir-uwv communication systems," *Journal of Electronics (China)*, vol. 26, no. 4, pp. 497–502, 2009.
- [3] H. Mahmudah, A. Wijayanti, O. Puspitorini, and N. A. Siswandari, "Analisa karakteristik tegangan dan delay pada visible light communication (VLC)," in *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Elektro Terapan*, vol. 1, no. 01, 2017, pp. 175–180.
- [4] M. Beshr, I. Andonvic, and M. Aly, "Visible light communications for healthcare applications," 09 2011.
- [5] H. Elgala, R. Mesleh, H. Haas, and B. Pricope, "OFDM visible light wireless communication based on white LEDs," in *2007 IEEE 65th Vehicular Technology Conference-VTC2007-Spring*. IEEE, 2007, pp. 2185–2189.
- [6] S. Rajagopal, R. D. Roberts, and S.-K. Lim, "Ieee 802.15. 7 visible light communication: modulation schemes and dimming support," *IEEE Communications Magazine*, vol. 50, no. 3, pp. 72–82, 2012.
- [7] S. Fuada, A. P. Putra, and T. Adiono, "Analysis of received power characteristics of commercial photodiodes in indoor los channel visible light communication," *Int. J. of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 8, no. 7, pp. 164–172, 2017.
- [8] S. Wu, H. Wang, and C.-H. Youn, "Visible light communications for 5G wireless networking systems: from fixed to mobile communications," *IEEE Network*, vol. 28, no. 6, pp. 41–45, 2014.
- [9] M. Haninditya, A. Hambali, and U. Sunarya, "Perancangan dan analisis pengiriman data digital pada VLC dengan interferensi cahaya," *eProceedings of Engineering*, vol. 5, no. 1, 2018.
- [10] Y. H. Chung and S.-b. Oh, "Efficient optical filtering for outdoor visible light communications in the presence of sunlight or artificial light," in *2013 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems*. IEEE, 2013, pp. 749–752.
- [11] A. J. C. Moreira, A. M. Tavares, R. J. M. T. Valadas, and A. de Oliveira Duarte, "Modulation methods for wireless infrared transmission systems: performance under ambient light noise and interference," in *Wireless Data Transmission*, vol. 2601. International Society for Optics and Photonics, 1995, pp. 226–238.
- [12] H.-J. Jang, J.-H. Choi, Z. Ghassemlooy, and C. G. Lee, "PWM-based PPM format for dimming control in visible light communication system," in *2012 8th International Symposium on Communication Systems, Networks & Digital Signal Processing (CSNDSP)*. IEEE, 2012, pp. 1–5.