

MITIGASI *FLICKER* DAN *DIMMING LIGHT EMITTING DIODE (LED)* DENGAN *PULSE POSITION AND SHAPE MODULATION (PPSM)*

(*MITIGATION ON *FLICKER* AND *DIMMING* INFLUENCE OF *LIGHT EMITTING DIODE (LED)* WITH *PULSE POSITION AND SHAPE MODULATION**)

Pebyani¹, Ir.Akhmad Hambali², M. Irfan Maulana³

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

¹pebyani@student.telkomuniversity.ac.id

²ahambali@telkomuniversity.ac.id, ³muhammadirfanm@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Visible Light Communication (VLC) merupakan salah satu jenis komunikasi yang terus mengalami perkembangan dengan menggunakan pemanfaatan cahaya tampak dalam mentransmisikan data. Terdapat dua tantangan utama untuk komunikasi cahaya tampak yaitu *dimming* dan *flicker*. *Flicker* adalah fluktuasi kecerahan cahaya pada LED. Perubahan kecerahan cahaya harus berada dalam *Maximum Flickering Time Period (MFTP)* ≤ 5 ms agar tidak berbahaya pada manusia. *Dimming* adalah pengaturan peredupan LED untuk menghemat daya dan efisiensi energi di VLC.

Dalam Tugas Akhir ini dibuat simulasi perancangan sistem VLC untuk mengontrol keredupan LED, dengan teknik modulasi PPSM, pada ruangan 5x5x3 meter, menggunakan kanal *Line Of Sight (LOS)*. Terdapat dua skema dalam penelitian ini, skema pertama menggunakan 2 buah LED dan skema kedua menggunakan 3 buah LED dengan daya 6 watt/led. Kinerja sistem dievaluasi dengan acuan parameter SNR dan nilai maksimum BER 10^{-3} .

Mitigasi *flicker* dilakukan dengan cara perubahan kecerahan cahaya harus berada dalam *MFTP* ≤ 5 ms dan frekuensi untuk *maximum light output* dan *minimum light output* harus ≥ 100 Hz. Modulasi *Pulse Position and Shape Modulation (PPSM)* dapat mengurangi *flicker* dan *dimming* dimana fungsinya menunjukkan bahwa kinerja persentase *flicker*, daya, SNR dan BER dapat dipertahankan pada kecepatan data yang lebih tinggi dengan menggunakan proses filter dan peningkatan jumlah pulsa.

Kata Kunci : *Visible Light Communication, Flicker, Dimming, Light Emitting Diode, Pulse Position and Shape Modulation, Bit Error Rate.*

Abstract

Visible Light Communication (VLC) is one type of communication that continues to develop by using visible light to transmit data. There are two main challenges for visible light communication: *dimming* and *flicker*. *Flicker* is a fluctuation in the brightness of the light on the LED. Changes in light brightness must be within the *Maximum Flickering Time Period (MFTP)* ≤ 5 ms to be harmless to humans. *Dimming* is an LED dimming setting to save power and energy efficiency in VLC.

In this final project, a simulation of the design of a VLC system to control LED dimming is made, with PPSM modulation technique, in a 5x5x3 meter room, using *Line Of Sight (LOS)* channels. There are two schemes in this study, the first scheme uses 2 LEDs, and the second scheme uses 3 LEDs with a power of 6 watts/led. We evaluated the system performance of the SNR parameter and the maximum value of BER 10^{-3} .

Flicker mitigation is carried out by changing the brightness of the light that must be within *MFTP* ≤ 5 ms, and the frequency for *maximum light output* and *minimum light output* must be ≥ 100 Hz. *Pulse Position and Shape Modulation (PPSM)* can reduce *flicker* and *dimming*. The function shows that it can maintain *flicker* percentage, power, SNR, and BER at higher data rates by using filter processes and increasing the number of pulses.

Keywords: *Visible Light Communication, Flicker, Dimming, Light Emitting Diode, Pulse Position and Shape Modulation, Bit Error Rate.*

1. Pendahuluan

Teknologi sistem komunikasi optik yang sedang berkembang saat ini adalah *Optical Wireless Communication* (OWC) dimana menggunakan media transmisi nirkabel. Salah satu pengembangan dari OWC adalah *Visible Light Communication* (VLC) yang menggunakan gelombang elektromagnetik pada spektrum cahaya tampak dari 380 nm hingga 750 nm [1].

Berdasarkan penelitian [4] terdapat dua tantangan utama untuk komunikasi menggunakan spektrum cahaya tampak adalah mitigasi *flicker* dan *dimming support*. *Flicker* mengacu pada fluktuasi kecerahan cahaya. Setiap *flicker* potensial yang dihasilkan dari modulasi sumber cahaya untuk komunikasi harus dikurangi karena *flicker* dapat menyebabkan perubahan fisiologis yang nyata dan berbahaya pada manusia. Untuk menghindari *flicker*, perubahan kecerahan harus berada dalam *Maximum Flickering Time Period* (MFTP). *Dimming support* adalah pertimbangan penting pada VLC untuk penghematan daya dan efisiensi energi.

Penelitian [5] mengusulkan penggabungan antara modulasi *Pulse Position Modulation* (PPM) dengan *Pulse Shape Modulation* (PSM) yang disebut dengan *Pulse Position and Shape Modulation* (PPSM) untuk mewujudkan sistem komunikasi kinerja tinggi dengan optimal dalam hal daya, *bandwidth*, kapasitas dan kecepatan data pada kompleksitas yang dapat diterima.

Pada Tugas Akhir ini, dilakukan penelitian mengenai mitigasi *flicker* dan pengaturan peredupan LED pada ruangan 5x5x3 meter menggunakan LED berjumlah 2 dan 3 buah dengan modulasi *Pulse Position and Shape Modulation* (PPSM). Simulasi dilakukan agar mendapatkan nilai *Bit Error Rate* (BER) yang maksimal sebesar 10^{-3} .

2. Dasar Teori

2.1 Visible Light Communication (VLC)

Visible Light Communication (VLC) atau komunikasi cahaya tampak adalah komunikasi yang menggunakan gelombang elektromagnetik pada spektrum cahaya tampak dari 380 nm hingga 750 nm [1]. VLC merupakan komunikasi yang efektif untuk penggunaan tanpa kabel dibanding dengan *Radio Frequency* (RF) karena lebih tahan terhadap interferensi gelombang elektromagnetik.

2.2 Light Emitting Diode (LED)

Light Emitting Diode (LED) adalah perangkat yang menggunakan *electroluminescence* dan semikonduktor untuk menghasilkan cahaya. Lebih khusus lagi, LED terbuat dari bahan yang sebagian mampu menghantarkan arus. Selain itu, cahaya dipancarkan ketika arus listrik melewati material, sebuah fenomena yang dikenal sebagai *electroluminescence* [1].

2.3 Photodiode

Photodiode adalah suatu jenis diode yang terbuat dari bahan semikonduktor, berfungsi untuk mendeteksi cahaya yang datang kemudian mengubah cahaya tersebut menjadi arus listrik. Dimana ada beberapa cahaya yang dapat dideteksi oleh photodiode antara lain cahaya infra merah, cahaya tampak, ultra ungu dan sinar-X. Ada beberapa aplikasi photodiode seperti penghitung kendaraan di jalan umum secara otomatis dan pengukur cahaya pada kamera. Photodiode adalah jenis diode yang resistansinya berubah-ubah tergantung intensitas cahaya yang diterimanya. Semakin besar intensitas cahaya pada photodiode maka semakin kecil nilai resistansinya, begitu sebaliknya jika semakin kecil intensitas cahaya pada photodiode maka semakin besar nilai resistansinya.

2.4 Flicker Mitigation

Salah satu tantangan *Visible Light Communication* (VLC) dalam melakukan komunikasi adalah mitigasi *flicker* yang mengacu pada perubahan kecerahan cahaya. *Flicker* berbahaya bagi kesehatan manusia seperti gangguan hingga serangan epilepsi. Untuk menghindari *flicker*, perubahan kecerahan harus berada dalam *Maximum Flickering Time Period* (MFTP). MFTP didefinisikan sebagai periode waktu maksimum di mana intensitas cahaya dapat berubah yang manusia melihatnya tanpa mata [4]. Jumlah *flicker* dapat diukur dengan

metrik yang disebut persentase *flicker*, yang merupakan ukuran untuk jumlah *flicker* pada frekuensi tertentu. Persentase *flicker* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut [13].

$$\%flicker = 100 \cdot \frac{A-B}{A+B} \quad (2.1)$$

Dimana A merupakan *maximum light output* dan B merupakan *minimum light output*.

2.5 Dimming

Dimming adalah peredupan LED sebagai upaya untuk penghematan daya dan efisiensi energi pada *Visible Light Communication* (VLC). Menurut [4], *dimming* terbagi atas 2 macam yaitu *visibility pattern dimming* dan *idle pattern dimming*. *Visibility pattern dimming* adalah pola untuk mendukung penerangan berkelanjutan dari infrastruktur yang pola ini digunakan di dalam *payload* bingkai visibilitas. *Idle pattern dimming* adalah pola yang menghasilkan perubahan kecerahan yang dapat ditransmisikan selama mode siaga atau menerima.

2.6 Pulse Position and Shape Modulation (PPSM)

Pulse Position and Shape Modulation (PPSM) merupakan penggabungan antara modulasi *Pulse Position Modulation* (PPM) dengan *Pulse Shape Modulation* (PSM) untuk mewujudkan sistem komunikasi kinerja tinggi dengan optimal dalam hal daya, *bandwidth*, kapasitas dan kecepatan data pada kompleksitas yang dapat diterima. Hasil analisis penelitian menunjukkan bahwa kinerja BER dapat dipertahankan pada kecepatan data yang lebih tinggi dengan peningkatan *bandwidth* dan jumlah pulsa [5].

2.7 Parameter Performa Sistem

2.7.1 Jarak Propagasi

Jarak propagasi adalah jarak *transmitter* terhadap *receiver*. Semakin dekat jarak antara *transmitter* dan *receiver*, maka intensitas cahaya yang diterima oleh *photodetector* semakin besar begitu juga sebaliknya. Semakin dekat jarak antara *receiver* dan *transmitter*, maka semakin kecil *Bit Error Rate* (BER) begitu juga sebaliknya. Jarak antara *transmitter* dengan *receiver* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$d = \sqrt{(X_r - X_t)^2 + (Y_r - Y_t)^2 + (Z_r - Z_t)^2} \quad (2.2)$$

2.7.2 Daya Terima

Dalam sistem komunikasi ada *transmitter* dan *receiver*. Dimana pada *transmitter* terdapat LED untuk mengirim daya yang akan diterima oleh *receiver*. Daya terima dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$P_{rx} = P_t \cdot H \quad (2.3)$$

Dimana P_t merupakan daya kirim dari *transmitter* dan H merupakan kanal yang digunakan pada skenario Tugas Akhir.

2.7.3 SNR

SNR merupakan salah satu parameter penting dalam komunikasi VLC, SNR berfungsi untuk menunjukkan tingkat kualitas sinyal dengan cara membandingkan daya sinyal informasi dengan daya *noise* yang diterima pada sistem. Semakin besar nilai SNR maka kualitas akan semakin baik. Perhitungan SNR ditulis dengan [11]:

$$SNR = \left(\frac{P_{R_x} R^2}{2 \cdot q \cdot (I_p + I_D) \cdot B_e \cdot M^2 \cdot F(M) \cdot 10^9 + 2 \cdot q \cdot I_L \cdot B_e \left(\frac{4 \cdot K_b \cdot T \cdot B_e}{R_L} \right)} \right) \quad (2.4)$$

dengan P_{rx} merupakan daya terima oleh *receiver* (watt), R merupakan responsivitas *photodetector* dengan nilai yang menyesuaikan sesuai jenis sumber cahaya yang digunakan, q merupakan muatan *electron* dengan nilai $1,6 \times 10^{-19}$ C, I_p merupakan arus primer, I_d merupakan arus *bulk dark*, B merupakan *bandwidth* penerima, M merupakan faktor multiplikasi, $F(M)$ merupakan *noise figure*, I_L merupakan arus *surface leakage*, K_b merupakan konstanta *Boltzman* yang bernilai $1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K, T merupakan suhu *photodetector* (°K), dan R_L merupakan nilai resistansi *photodetector*.

2.7.4 Bit Error Rate (BER)

BER merupakan representasi perbandingan jumlah bit yang *error* terhadap total bit yang diterima. Perhitungan nilai BER pada sistem dipengaruhi dengan membandingkan energi sinyal dengan bit terhadap *noise*.

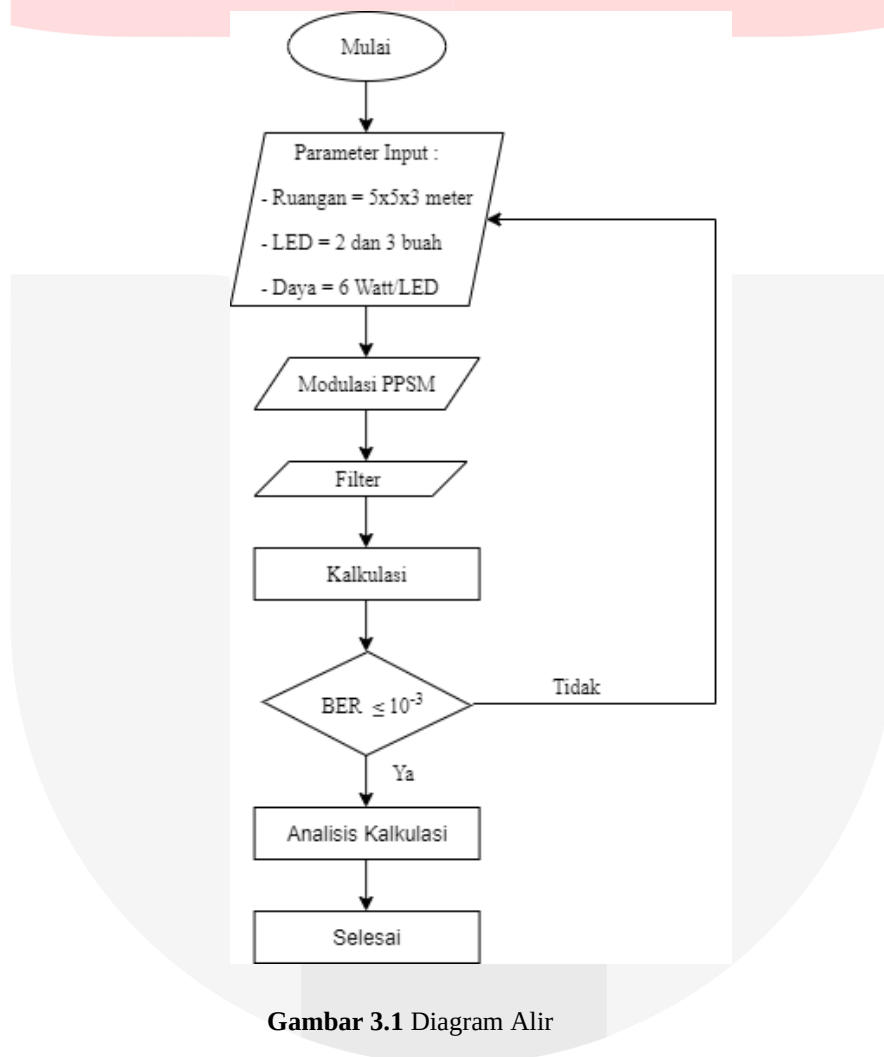
Standar BER yang digunakan pada VLC adalah sebesar 10^{-3} . Semakin kecil nilai BER maka rasio kesalahan akan semakin kecil. Pada Tugas Akhir ini, BER dapat dirumuskan sebagai [5]:

$$BER_{PPSM} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_s}{N_0}} \times \sin \sqrt{\frac{\pi}{M_{PPSM}}} \right) \quad (2.5)$$

3. Perancangan Sistem

3.1 Diagram Alir dan Perencanaan Simulasi

Proses pengerjaan simulasi untuk mengontrol peredupan pada sistem VLC yang terdiri dari beberapa komponen dan parameter dengan skema PPSM direpresentasikan pada diagram alir berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir

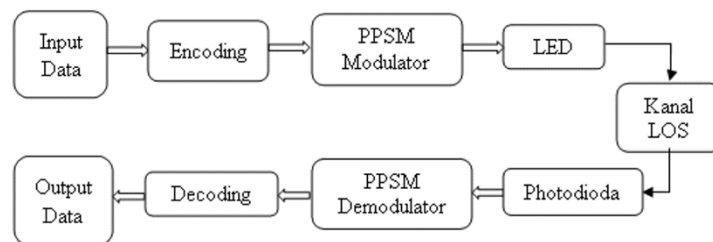
Gambar 3.1 menunjukkan langkah-langkah yang dilakukan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut.

1. Mulai dengan perancangan sistem.
2. Menentukan parameter *input* seperti: ukuran ruangan 5x5x3 meter, LED yang digunakan sebanyak 2 dan 3 buah, daya LED 6 Watt/LED.
3. Melakukan proses *dimming* dan *flicker* yang sudah termasuk dalam Modulasi PPSM dengan melalui proses filter.

4. Memulai kalkulasi dengan memasukkan data yang sesuai dengan parameter *input*.
5. Melakukan kalkulasi untuk mencapai target BER 10^{-3} .
6. Jika tidak mencapai target, maka melakukan pembenahan kembali pada penentuan parameter *input* agar mencapai target BER 10^{-3} .
7. Jika mencapai target BER 10^{-3} , maka selanjutnya melakukan analisis hasil kalkulasi yang didapatkan berdasarkan parameter yang telah dipaparkan.
8. Kalkulasi selesai dilakukan.

3.2 Model Sistem

Pada sistem VLC, dilakukan simulasi dengan beberapa model. Simulasi tersebut ditujukan untuk mengontrol peredupan yang terdiri dari beberapa komponen. Skema yang digunakan adalah PPSM. Skema tersebut ditampilkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Blok Diagram

Perancangan sistem pada Tugas Akhir ini, menggunakan diagram blok seperti pada Gambar 3.2 yang menunjukkan *input data* akan masuk ke proses *encoding* yaitu proses konversi informasi dari suatu sumber menjadi data. Kemudian akan dimodulasi dengan *modulator*, *modulator* merupakan komponen yang berfungsi melakukan proses modulasi, yaitu menumpangkan sinyal pembawa ke sinyal informasi. Pada penelitian ini menggunakan modulasi *Pulse Position and Shape Modulation* (PPSM). LED ini akan memancarkan sinyal informasi yaitu sinyal listrik kemudian dikonversikan ke sinyal optik lalu ditransmisikan pada kanal *Line of Sight* (LOS) agar merambatkan sinyal informasi dari *transmitter* ke *receiver* secara langsung tanpa adanya *obstacle*. Sinyal optik akan diterima oleh photodiode lalu akan dirubah kembali menjadi sinyal listrik. Setelah sinyal menjadi listrik maka akan didemodulasi PPSM *demodulator* dengan *decoding* yaitu proses mengembalikan sinyal informasi menjadi bentuk semula. Sinyal informasi yang diterima dilakukan pengecekan nilai *Bit Error Rate* (BER), untuk mengetahui banyaknya bit *error* yang terdapat dalam sinyal informasi yang diterima.

3.3 Skema 1

Pada Tugas Akhir ini dilakukan simulasi sistem menggunakan ruangan dengan ukuran 5x5x3 meter yang memiliki LED berjumlah 2 buah dengan daya 6 watt per LED. Letak koordinat LED berada pada titik (2.5,2.5,3) dengan kanal *Line of Sight* (LOS). Modulasi yang digunakan pada simulasi sistem adalah PPSM yang akan mengatur keredupan pencahayaan sebelum LED mentransmisikan data pada *receiver* dengan FOV sebesar 70° untuk mendapatkan nilai BER sebesar 10^{-3} .

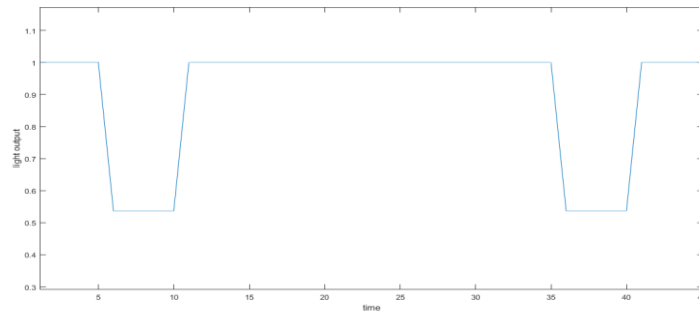
3.4 Skema 2

Pada Tugas Akhir ini dilakukan simulasi sistem menggunakan ruangan dengan ukuran 5x5x3 meter yang memiliki LED berjumlah 3 buah dengan daya 6 watt per LED. Letak koordinat LED berada pada titik (2.5,2.5,3) dengan kanal *Line of Sight* (LOS). Modulasi yang digunakan pada simulasi sistem adalah PPSM yang akan mengatur keredupan pencahayaan sebelum LED mentransmisikan data pada *receiver* dengan FOV sebesar 70° untuk mendapatkan nilai BER sebesar 10^{-3} .

4. Hasil dan Analisis

4.1 Analisis Flicker

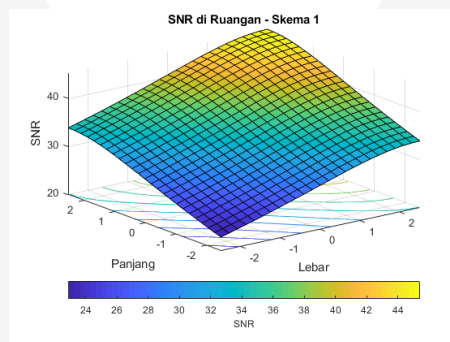
Pada Gambar 4.1, diperlihatkan sebuah grafik hasil pengolahan dataset untuk menganalisis *flicker*. Dengan modulasi PPSM, *flicker* menjadi tidak terlihat oleh mata manusia dimana menghasilkan perubahan waktu sesuai MFTP sebesar 5 ms dengan *maximum light output* sebesar 1 dan *minimum light output* sebesar 0.4. *Pulse Position and Shape Modulation* (PPSM) memutar LED dari arus listrik maksimum ke arus nol dan mengulanginya dengan kecepatan tetap. Karena mata manusia tidak dapat melihat perubahan pada frekuensi ini, pengamat hanya melihat daya rata-rata yang konstan, yaitu antara intensitas tinggi dan intensitas rendah. Persentase *flicker* yang didapatkan adalah 53.7%, yang mengindikasikan kualitas pencahayaan cukup baik.



Gambar 4.1 Analisis Flicker

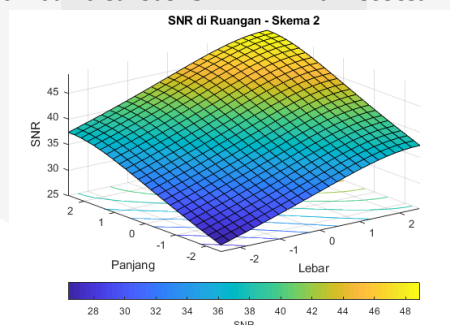
4.2 Analisis Performansi Keseluruhan

Pada Gambar 4.2 menjelaskan hasil distribusi SNR pada skema 1. Distribusi SNR maksimum berada di koordinat (2.5, 2.5) sebesar 45.4051 dB dan distribusi SNR minimum sebesar 22.8617 dB.



Gambar 4.2 Distribusi SNR Skema 1

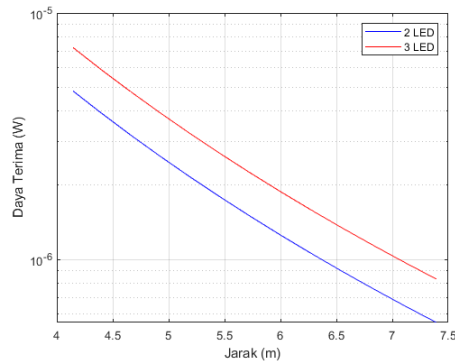
Pada Gambar 4.3 menjelaskan hasil distribusi SNR pada skema 2. Distribusi SNR maksimum berada di koordinat (2.5, 2.5) sebesar 48.9155 dB dan distribusi SNR minimum sebesar 26.3721 dB.



Gambar 4.3 Distribusi SNR Skema 2

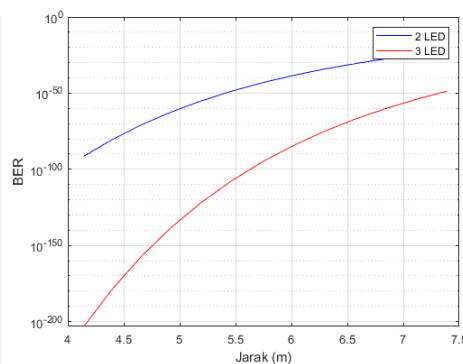
Hasil perhitungan skema 1 dan 2 berbeda. Gambar 4.4 menunjukkan perbandingan hasil skema 1 (2 LED) dan skema 2 (3 LED) dari sisi daya terima terhadap jarak. Pada skema 1, daya terima maksimum sebesar 3.7955×10^{-5} W dan daya terima minimum sebesar 5.5541×10^{-7} W. Pada skema 2, daya terima maksimum yang diperoleh sebesar 5.6932×10^{-5} W dan daya terima minimum sebesar 8.3312×10^{-7} W. Hal ini dikarenakan daya terima akan

semakin besar apabila jarak *receiver* terhadap *transmitter* dekat, dan apabila jika jarak *receiver* terhadap *transmitter* menjauh, maka nilai daya terima yang didapatkan semakin kecil.



Gambar 4.4 Perbandingan Hasil Daya Terima terhadap Jarak

Hasil perhitungan skema 1 dan 2 berbeda. Gambar 4.5 menunjukkan perbandingan hasil skema 1 (2 LED) dan skema 2 (3 LED) dari sisi BER terhadap jarak. Pada skema 1, nilai BER mendekati 0 dapat dicapai saat jarak sejauh 2.16 m, dan mencapai nilai maksimum BER pada jarak sejauh 7.39362 m. Pada skema 2, nilai BER mendekati 0 dapat dicapai saat jarak sejauh 4.14314 m, dan mencapai nilai maksimum BER pada jarak sejauh 7.39362 m. Hal tersebut dikarenakan semakin dekat jarak antara *receiver* dan *transmitter*, maka semakin kecil *bit error*. Semakin jauh jarak antara *receiver* dan *transmitter*, maka nilai *bit error* semakin besar.



Gambar 4.5 Perbandingan Hasil BER terhadap Jarak

5. Kesimpulan

Dari hasil dan analisis, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Mitigasi *flicker* dilakukan dengan cara perubahan kecerahan cahaya harus berada dalam *Maximum Flickering Time Period* (MFTP) ≤ 5 ms dan frekuensi untuk *maximum light output* dan *minimum light output* harus ≥ 100 Hz.
2. Modulasi *Pulse Position and Shape Modulation* (PPSM) dapat mengurangi *flicker* dan *dimming* dimana fungsinya menunjukkan bahwa kinerja persentase *flicker*, daya, SNR dan BER dapat dipertahankan pada kecepatan data yang lebih tinggi dengan menggunakan proses filter dan peningkatan jumlah pulsa.
3. Pada skema 1, untuk nilai SNR maksimum sebesar 33.8814 dB pada jarak 5.44661 m dan nilai SNR minimum sebesar 22.8617 dB pada jarak 7.39362 m. Pada skema 2, untuk nilai SNR minimum sebesar 37.3919 dB pada jarak 5.44661 m dan nilai SNR minimum sebesar 26.3721 dB pada jarak 7.39362 m. Hal tersebut dikarenakan Semakin jauh jarak *receiver* terhadap *transmitter*, maka nilai distribusi SNR semakin kecil.
4. Hasil perhitungan skema 1 dan 2 berbeda. Pada skema 1, nilai BER mendekati 0 dapat dicapai saat jarak sejauh 2.16 m, dan mencapai nilai maksimum BER pada jarak sejauh 7.39362 m. Pada skema 2, nilai BER mendekati 0 dapat dicapai saat jarak sejauh 4.14314 m, dan mencapai nilai maksimum BER pada jarak sejauh 7.39362 m. Hal tersebut dikarenakan semakin dekat jarak antara *receiver* dan *transmitter*,

maka semakin kecil *bit error*. Semakin jauh jarak antara *receiver* dan *transmitter*, maka nilai *bit error* semakin besar.

5. Hasil perhitungan skema 1 dan 2 berbeda. Pada skema 1, daya terima maksimum sebesar 3.7955×10^{-5} W dan daya terima minimum sebesar 5.5541×10^{-7} W. Pada skema 2, daya terima maksimum yang diperoleh sebesar 5.6932×10^{-5} W dan daya terima minimum sebesar 8.3312×10^{-7} W. Hal tersebut dikarenakan daya terima akan semakin besar apabila jarak *receiver* terhadap *transmitter* dekat, dan apabila jika jarak *receiver* terhadap *transmitter* menjauh, maka nilai daya terima yang didapatkan semakin kecil.

Referensi

- [1] L. E. M. Matheus, A. B. Vieira, L. F. M. Vieira, M. A. M. Vieira, and O. Gnawali, "Visible Light Communication: Concepts, Applications and Challenges," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 21, no. 4, pp. 3204–3237, 2019.
- [2] M. Kavehrad, "Sustainable energy-efficient wireless applications using light," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 48, no. 12, pp. 66–73, 2010.
- [3] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 50, no. 1, pp. 100–107, 2004.
- [4] S. Rajagopal, R. D. Roberts, and S. K. Lim, "IEEE 802.15.7 visible light communication: Modulation schemes and dimming support," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 50, no. 3, pp. 72–82, 2012.
- [5] A. Y. Ali, Z. Zhang, and B. Zong, "Pulse position and shape modulation for visible light communication system," in *Proceedings - 2014 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications, ICEAA 2014*, 2014, pp. 546–549.
- [6] N. Chi, *Signals and Communication Technology LED-Based Visible Light Communications*. 2018.
- [7] M. Rouissat, A. R. Borsai, and M. Chikh-Bled, "Isochronous and Anisochronous Modulation Schemes in Wireless Optical Communication Systems," *Int. J. Inf. Eng. Electron. Bus.*, vol. 4, no. 3, pp. 19–25, 2012.
- [8] M. H. Ahfayd, M. J. N. Sibley, P. J. Mather, and P. I. Lazaridis, "Visible light communication based on offset pulse position modulation (Offset-PPM) using high power LED," *2017 32nd Gen. Assem. Sci. Symp. Int. Union Radio Sci. URSI GASS 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 1–4, 2017.
- [9] J. R. Barry, "Wireless Infrared Communications," *Wirel. Infrared Commun.*, vol. 9219, no. 97, 1994.
- [10] C. J. Mitchell and R. Kohno, "Orthogonalized and coded modulation for combined pulse position and pulse shape modulation," *2004 Int. Work. Ultra Wideband Syst. Jt. with Conf. Ultra Wideband Syst. Technol. Jt. UWBST IWUWBS 2004*, pp. 177–181, 2004.
- [11] L. Wang, C. Wang, X. Chi, L. Zhao, and X. Dong, "Optimizing SNR for indoor visible light communication via selecting communicating LEDs," *Opt. Commun.*, vol. 387, no. October 2016, pp. 174–181, 2017.
- [12] M. Cleary, *Optical Wireless Communication : System and Channel Modelling with MATLAB*, vol. 53, no. 9. 2019.
- [13] K. M. vd Zwaag, J. L. C. Neves, H. R. O. Rocha, M. E. V. Segatto, and J. A. L. Silva, "Adaptation to the LEDs flicker requirement in visible light communication systems through CE-OFDM signals," *Opt. Commun.*, vol. 441, no. January, pp. 14–20, 2019.