

Desain Pengiriman Data Gambar Menggunakan Gelombang Cahaya Tampak dengan Sel Surya Sebagai Detektor Cahaya

Rendy M. Wahid¹, Menik Ariani¹, Assaidah^{1*}

¹Program Studi Magister Fisika, FMIPA, Universitas Sriwijaya

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 14 Mei 2025

Direvisi: 1 Juni 2025

Diterima: 3 Juli 2025

Kata kunci:

Arduino
Kamera
Laser merah
PWM
Sel surya

Keywords:

Arduino
camera
red laser
PWM
Solar cells

Penulis Korespondensi:

Assaidah

Email: assaidah@unsri.ac.id

ABSTRAK

Riset komunikasi cahaya tampak (*Visible Light Communication*) yang mengirimkan data gambar belum banyak dipublikasikan. Oleh karena itu perlu dilakukan eksperimen pengiriman data gambar dari kamera yang terhubung ke Arduino tempat proses modulasi dijalankan. Dalam penelitian ini, pengiriman gambar menggunakan *pulse-width-modulation* (PWM) yakni 2-PWM dan 4-PWM. Teknik PWM sangat efektif dan efisien untuk merepresentasikan biner melalui pengaturan lebar pulsa laser. Pada bagian transmitter, terdiri dari sensor kamera OV2640, laser dan Arduino Uno R3 sementara pada sisi receiver terdiri dari panel surya dan Arduino Uno R3. Sebuah *push button* dijadikan pemicu untuk mengambil gambar oleh kamera; file gambar akan dikonversi oleh Arduino ke dalam biner; biner akan dimodulasi oleh frekuensi laser merah yang memancarkan pulsa menuju panel surya. Panel surya akan meneruskan sinyal ke Arduino untuk didemodulasi kembali ke biner yang asli. Data biner akan diproses menjadi data gambar kembali secara offline menggunakan komputer akibat keterbatasan perangkat keras seperti Arduino Uno yang tidak mendukung tampilan gambar secara *real-time* lewat Serial Monitor. Sistem dapat bekerja pada jarak maksimal 8 m saat menggunakan teknik modulasi 2-PWM dan maksimal 6 m saat menggunakan 4-PWM. Ukuran kinerja sistem dihitung dari nilai *bit-error-ratio* (BER) berdasarkan data biner yang diterima pada bagian receiver. Tingkat akurasi gambar dilakukan berdasarkan kesesuaian antara bit-bit data yang diterima dengan data yang dikirim sehingga kualitas gambar secara visual dapat diabaikan.

Visible Light Communication research that sends image data has not been widely published. Therefore, it is necessary to conduct an experiment on sending image data from a camera connected to an Arduino where the module process is run. In this study, image transmission uses pulse-width-modulation (PWM), namely 2-PWM and 4-PWM. On the transmitter side, it consists of an OV2640 camera sensor, laser and Arduino Uno R3 while on the receiver side it consists of a solar panel and Arduino Uno R3. A push button is used as a trigger to take a picture by the camera; the image file will be converted by Arduino into binary; the binary will be modulated by the frequency of the red laser that emits pulses to the solar panel. The solar panel will forward the signal to Arduino to be modulated back into the original binary. Binary data will be processed into image data back offline using a computer. The system can work at a maximum distance of 8 m when using the 2-PWM module technique and a maximum of 6 m when using 4-PWM. The size of the system performance is calculated from the bit-error-ratio (BER) value based on the binary data received at the receiver.

Copyright © 2025 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Komunikasi menggunakan gelombang cahaya tampak atau dikenal dengan istilah *Visible Light Communication (VLC)* didemonstrasikan pertama kali pada tahun 2000 di Universitas Keio, Jepang. Istilah VLC sendiri baru diciptakan pada tahun 2003 di laboratorium Nakagawa dimana sebuah LED digunakan untuk mentransmisikan data (Rehman et al., 2019). Saat ini, telah banyak riset mengenai sistem VLC yang menggunakan lampu LED dan laser sebagai sumber cahaya tampak untuk mentransmisikan data. Riset yang dilakukan oleh Charisma dkk. menggunakan VLC untuk mentransmisikan data audio dengan laser sebagai *transmitter (Tx)* pada tahun 2021 (Charisma et al., 2021). Sementara pada tahun 2022, Islami dkk. memanfaatkan sistem VLC untuk mengirim data tsunami menggunakan laser sebagai sumber gelombang cahaya tampak (Islami et al., 2022). Penelitian yang dilakukan oleh Hou dkk. pada tahun 2024 juga memanfaatkan laser dalam sistem yang disebut sebagai *Light Fidelity (Li-Fi)* yang berhasil mentransmisikan data 500 Mbps pada jarak 1 m sampai 4 m. LiFi adalah merk yang dipakai dalam VLC untuk menyamai istilah WiFi dalam komunikasi gelombang radio. Semakin jauh jarak transmisi, maka kinerja sistem akan berkurang yang ditandai dengan nilai Bit Error Ratio (BER) yang semakin tinggi (Hou et al., 2024).

Sistem VLC menggunakan beberapa sensor optik sebagai penerima data di bagian *receiver* atau *Rx*, salah satunya adalah sel surya. Penelitian yang dilakukan oleh Zaiton dkk. pada tahun 2020 membahas tentang karakteristik sel surya sebagai fotodetektor pada VLC untuk di dalam ruangan. Mereka mengungkapkan bahwa sel surya dapat digunakan untuk pengumpul energi sekaligus sebagai detektor cahaya tanpa mengurangi kinerja sistem komunikasi tersebut (Zaiton et al., 2020). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Mohan dan Raja pada tahun 2021, sel surya dapat digunakan sebagai *receiver* VLC sebagai pengganti fotodioda yang sering digunakan dalam eksperimen. Hal ini disebabkan karena sel surya memiliki area penampang yang lebih besar sehingga memudahkan proses *line-of-sight* (LOS) dalam proses pengiriman data dari *Tx* ke *Rx*. Selain itu, penggunaan sel surya juga lebih hemat energi karena tidak memerlukan catu daya eksternal seperti halnya pada modul sensor photodioda (Mohan & Raja, 2021). Hal senada juga diungkapkan dalam penelitian yang dilakukan oleh Kurniawati dan Basuki yang menyatakan bahwa sel surya dapat mengkonversi tegangan yang diterima dari cahaya lampu LED RGB pada jarak 60 cm dengan akurasi pengiriman data 100% (Kurniawati & Basuki, 2021).

Modem VLC biasanya menggunakan *hardware* seperti FPGA (Fuada dkk, 2021), DSP board (Fuada dkk, 2022) atau mikrokontroler seperti Arduino. Penelitian yang dilakukan oleh Turnip dkk. telah memperagakan Arduino sebagai mikrokontroler untuk memantau kondisi akuarium berbasis sistem VLC (Turnip et al., 2019). Pada tahun 2020, grup riset Gupta menggunakan Arduino sebagai kendali pada transmitter dan receiver sistem VLC dengan skema *multi-input multi-output* atau MIMO (Gupta, 2020). Penelitian lainnya pada tahun 2023 berhasil mengirimkan data video menggunakan Arduino sebagai modul transmitter dan receiver yang terkoneksi dengan laptop (Ibnugraha et al., 2023).

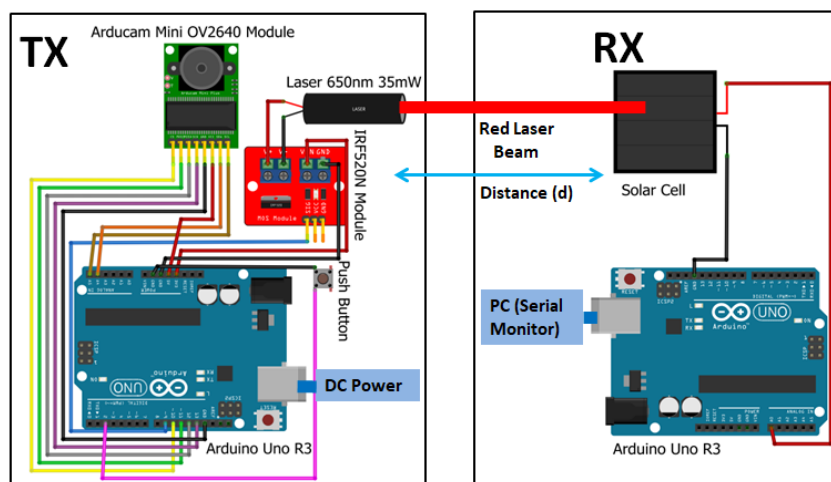
Secara umum, VLC dapat digunakan untuk mengirimkan berbagai jenis data seperti teks, audio, gambar, dan video. Kelompok riset Reyes menggunakan pemrograman Matlab sebagai *converter* gambar ke data biner untuk dikirim melalui komunikasi cahaya tampak pada tahun 2019. Data bit tersebut akan diproses oleh mikrokontroler pada transmitter untuk ditransmisikan ke receiver yang akan diolah kembali menjadi gambar menggunakan program matlab di komputer bagian penerima (Sandoval-Reyes, 2019). Grup peneliti lain juga melakukan proses pengiriman data gambar pada sistem VLC menggunakan aplikasi Visual Studio agar dapat meningkatkan keberhasilan pengiriman data (Tsaqifurrosyid et al., 2020). Pada tahun 2022, tim peneliti berbeda menggunakan Matlab untuk pengiriman data gambar namun dengan rancangan mikrokontroler sendiri untuk operasional sistem komunikasi cahaya tampak tersebut (Majeed & H. Naser, 2022).

Sepanjang pengetahuan penulis, belum ada penelitian yang menggunakan sensor kamera untuk mengirimkan data gambar pada sistem komunikasi cahaya tampak atau VLC ini. Oleh karena itu, dalam riset ini, telah didesain pengiriman data gambar menggunakan sensor kamera yang terhubung ke Arduino yang akan memodulasi data dengan gelombang cahaya laser merah di bagian pengirim dan sel surya sebagai fotodetektor di bagian penerima. Tujuan dari riset ini adalah untuk mengimplementasikan sistem pengiriman data gambar dari sensor kamera dengan modulasi PWM gelombang cahaya laser merah yang terhubung ke mikrokontroler Arduino. Sel surya yang berfungsi sebagai fotodetektor di sisi penerima akan menangkap sinar laser yang mengandung data biner gambar untuk didemodulasi sehingga gambar dapat direkonstruksi sesuai data asli yang diambil oleh kamera.

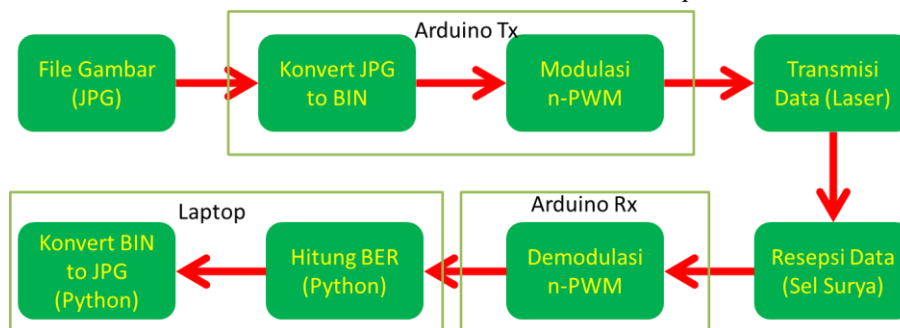
II. METODE

2.1 Perancangan Hardware

Penelitian ini menggunakan Arduino Uno R3 sebagai mikrokontroler tempat program modulasi ditanamkan; panel surya sebagai detektor cahaya; laser 650 nm dengan daya 35 mW sebagai sumber cahaya tampak; modul IRF520N sebagai pengontrol daya untuk Laser; *push button* sebagai input kontrol untuk pengiriman data; dan *Arducam mini OV2640 module* sebagai penangkap gambar yang akan dikirimkan lewat pulsa laser. Perancangan *hardware* dilakukan seperti pada Gambar 1 dimana terdapat dua bagian yaitu *transmitter* (Tx) dan *receiver* (Rx) dengan Arduino sebagai pengendali lalu lintas data gambar yang diambil oleh kamera. Data gambar dalam bentuk JPG diubah ke bentuk biner oleh Arduino Tx untuk ditumpangkan kepada pulsa laser dengan modulasi PWM. Sinar laser akan menuju penerima Rx pada jarak d yang pulsanya akan ditangkap oleh detektor cahaya berupa sel surya. Sel surya akan mengirimkan sinyal ke Arduino pada bagian Rx untuk mendemodulasi data biner sesuai yang dikirim oleh Tx. Data biner ini akan diterjemahkan kembali menjadi gambar secara *offline* menggunakan komputer sekaligus untuk dihitung nilai bit-error-ratio (BER) nya (Gambar 2). Pengambilan data untuk analisis Bit Error Ratio (BER) dilakukan setelah serangkaian eksperimen pengambilan gambar menggunakan sensor kamera. Untuk mendapatkan keseragaman ukuran gambar serta memperoleh visualisasi yang representatif, dilakukan sekitar 40 kali pengambilan gambar. Gambar dengan ukuran file yang kecil dan kualitas visual yang baik dipilih untuk proses pengujian BER, dimana data biner dari gambar tersebut menjadi referensi saat Rx mendapatkan bit gambar hasil proses demodulasi. Data biner referensi dibandingkan dengan data biner di Rx lewat operasi logika AND untuk memperoleh jumlah bit yang error. Jumlah error tersebut akan dibagi dengan total bit yang dikirim sehingga didapatkan nilai BER pada setiap variasi jarak transmisi.



Gambar 1 Desain hardware transmitter Tx dan receiver Rx pada modem VLC



Gambar 2 Alur pengiriman data gambar dari transmitter Tx ke receiver Rx

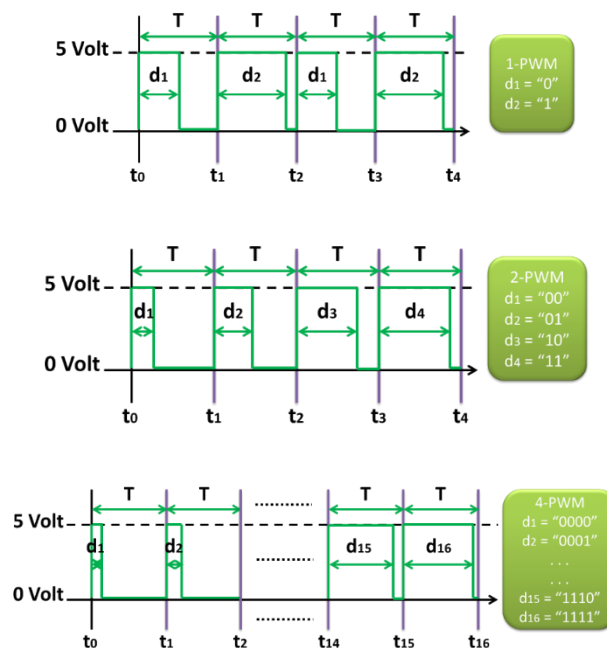
Jenis data gambar yang dikirim pada eksperimen dipengaruhi oleh ukuran file, resolusi, serta format warna (warna penuh atau grayscale) yang berdampak pada jumlah bit yang dihasilkan dalam proses konversi gambar ke dalam bentuk data biner. Semakin besar ukuran file dan resolusinya, maka semakin banyak pula total bit yang dikirimkan, sehingga mempengaruhi durasi transmisi dan berpotensi

meningkatkan nilai BER. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dipilih gambar dengan ukuran kecil dan visualisasi yang jelas untuk menjaga efisiensi transmisi dan mempermudah proses analisis terhadap performa sistem.

2.2 Implementasi Teknik Modulasi PWM

Teknik modulasi PWM atau *pulse width modulation* adalah teknik pengaturan lebar pulsa gelombang pembawa untuk merepresentasikan sejumlah bit sesuai lebar pulsanya. Pada jenis modulasi 1-PWM, terdapat 2 kemungkinan lebar pulsa yang digunakan yaitu D1 dan D2 dimana setiap lebar pulsa menyatakan bilangan biner 1 atau 0. Pada teknik modulasi 2-PWM, terdapat 4 kemungkinan lebar pulsa yang dapat digunakan yaitu D1, D2, D3, dan D4 yang berarti setiap lebar pulsa menyatakan bit 00, 01, 10 atau 11, secara berurutan (Gambar 3). Dari penjelasan kedua jenis modulasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa jika menggunakan n -PWM ini, maka kemungkinan variasi lebar pulsa yang diperlukan adalah 2^n , dimana n merupakan banyak bit yang akan dibawa oleh setiap periode pulsa. Semakin besar nilai n , maka akan semakin sempit lebar pulsa gelombang pembawa yang akan mempersulit *receiver* dalam melakukan proses demodulasi. Jika $n=4$, maka ada 4 bit yang akan dikirim pada setiap lebar pulsa sehingga dibutuhkan 2^4 atau 16 lebar pulsa yaitu d_1 sampai d_{16} .

Proses sinkronisasi antara transmitter dan receiver dilakukan dengan menerapkan rangkaian 'sinyal kode' yang sama-sama diketahui oleh Tx dan Rx (disini disebut *preamble*). Preamble digunakan untuk menandakan awal data yang dikirim guna meminimalkan pendeteksian terus menerus yang dilakukan oleh fotodetektor. Setiap satu kali pengiriman data, ditandai oleh 1 preamble sampai data selesai dikirim (Gambar 4). Penanda di bagian akhir data tidak digunakan untuk menyederhanakan proses pengambilan data biner pada Rx dan menghemat *bandwidth* transmisi data.



Gambar 3 (atas) Deskripsi 1-PWM; (tengah) Deskripsi 2-PWM; (bawah) Deskripsi 4-PWM

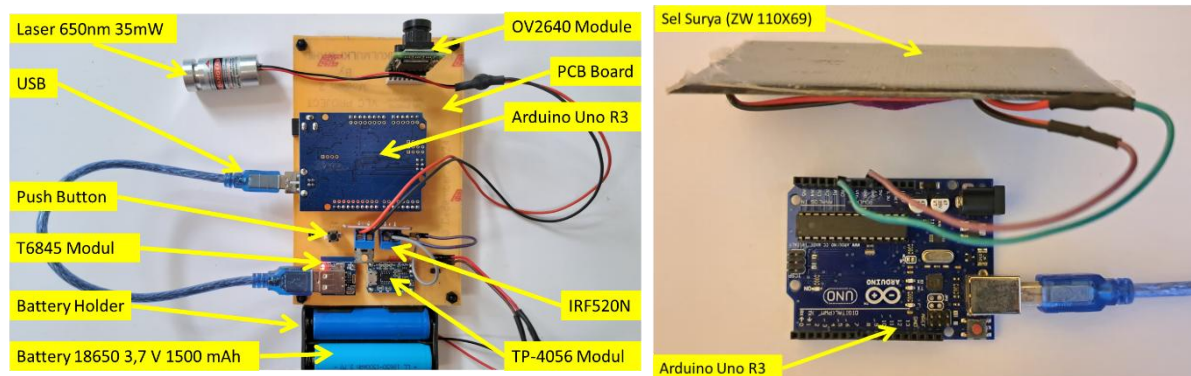


Gambar 4 Gambaran Preamble sebagai penanda awal data setiap kali proses transmisi

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Implementasi Rangkaian

Rangkaian *transmitter* (Tx) dan *receiver* (Rx) untuk pengiriman data gambar dari sensor kamera lewat gelombang laser merah telah berhasil dibuat seperti yang tampak pada Gambar 5. Rangkaian transmitter diimplementasikan pada papan PCB dengan penambahan modul TP-4056, T6845 *Powerbank Module*, dan baterai 18650 sebagai sumber tegangannya. Penggunaan papan PCB dimaksudkan untuk meminimalkan penggunaan kabel *jumper* yang akan meningkatkan resiko error seperti *wiring error* dan *connection error*. Proses desain papan PCB dilakukan dengan mengakses website *easyEDA*, kemudian layout dicetak pada papan PCB polos agar kamera OV2640, Arduino dan IRF520N serta Laser terkoneksi secara solid. Sementara rangkaian receiver tidak menggunakan papan PCB karena hanya terdiri dari papan Arduino dan panel surya sehingga langsung dihubungkan dengan menggunakan kabel jumper.



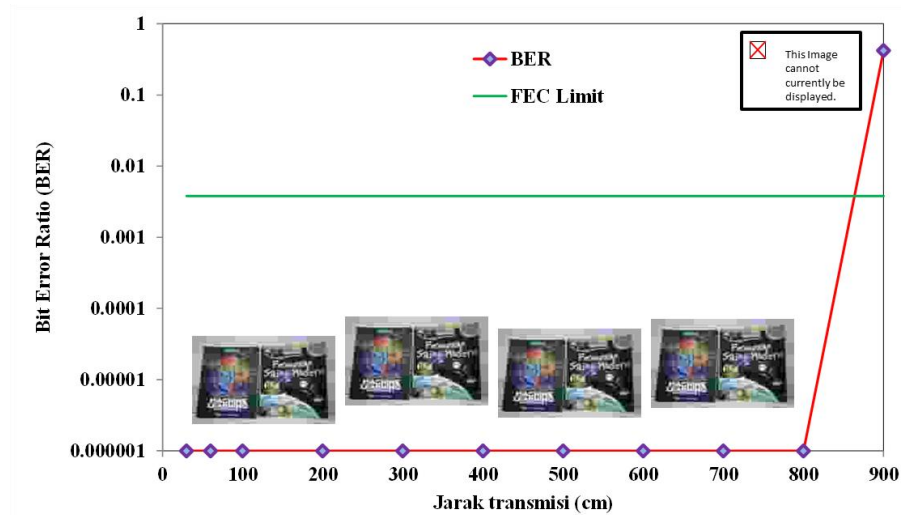
Gambar 5 (kiri) Rangkaian blok transmitter Tx (kanan) Rangkaian blok receiver Rx\

3.2 Pengujian Jarak Transmisi Komunikasi

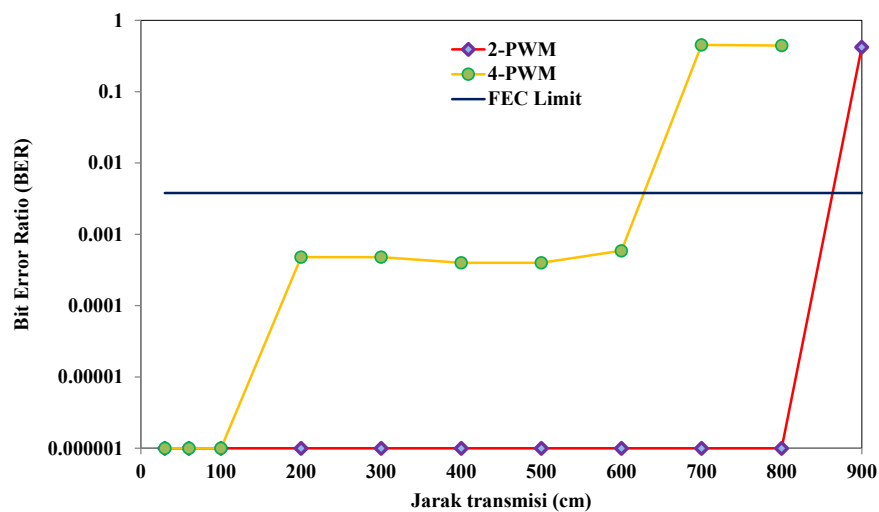
Pengujian sistem komunikasi cahaya tampak dilakukan dengan memvariasikan jarak antara transmitter Tx dan receiver Rx yang terhubung dengan PC/Laptop untuk menampilkan perhitungan nilai BER akibat variasi jarak tersebut. Gambar 6 menunjukkan performa sistem VLC saat jarak transmisi diatur mulai dari 30, 60, 100 hingga 900 cm. Teknik modulasi pengiriman gambar yang dipakai adalah 2-PWM dengan nilai BER 0 meski jarak transmisi ditambah sampai 800 cm. Pada jarak 900 cm, data gambar tidak bisa dibuka atau bertuliskan “This image cannot currently be displayed”. Hal ini dikarenakan nilai BER yang tinggi yaitu 0,42 sehingga dapat dipastikan proses demodulasi data tidak berhasil. Nilai BER ini melebihi nilai eror yang diperbolehkan atau *FEC limit* yaitu $3,8 \times 10^{-3}$. Nilai ini merupakan ambang batas yang umum digunakan untuk nilai eror maksimum dalam aplikasi sistem komunikasi optik. Kurva pada gambar juga menunjukkan adanya ‘*tradeoff*’ atau pertukaran antara nilai BER dan jarak transmisi seperti yang dilaporkan dalam (Yazgan, 2011). Semakin jauh jarak transmisi maka semakin besar nilai BER yang akan meningkatkan resiko rusaknya data yang dikirim saat diproses oleh penerima.

Jika dibandingkan dua teknik modulasi berbeda yaitu 2-PWM dan 4-PWM, maka performa sistem akan berubah dalam hal menurunnya jarak transmisi saat jumlah bit yang dikirim pada setiap lebar pulsa laser ditingkatkan. Wang et al. telah melaporkan soal *tradeoff* antara kecepatan pengiriman data dengan jarak transmisi ini (Wang et al, 2008). Semakin cepat *data rate* maka akan semakin pendek jarak jangkauan transmisi antara Tx dan Rx. Gambar 7 mengkonfirmasi pernyataan tersebut. Tampak bahwa saat menggunakan 2-PWM (2 bit dikirim per lebar pulsa), sistem dapat melakukan pengiriman data gambar hingga jarak 800 cm. Namun saat *data rate* ditingkatkan dengan penggunaan teknik 4-PWM, jarak transmisi maksimum hanya berada pada jangkauan 600 cm. Skema 2-PWM yang digunakan -dimana lebar pulsa frekuensi laser adalah 100ms- akan memberikan data rate 20bps sementara 4-PWM membuat data rate lebih cepat yaitu menjadi 40 bps. Dengan ukuran gambar 1,41kB maka pengiriman data akan memakan waktu sekitar 9,4 menit pada skema 2-PWM dan sekitar 4,7 menit pada skema 4-PWM. Peluang terjadinya eror lebih besar pada skema 4-PWM dikarenakan setiap pulsa

gelombang laser merepresentasikan 4 bit yang berarti lebar pulsa lebih sempit dibandingkan skema 2-PWM yang merepresentasikan 2 bit. Lebar pulsa yang sempit ini saat melewati kanal transmisi yang panjang lebih rentan terhadap *noise* sehingga membuat Rx semakin sulit melakukan proses demodulasi. Pemakaian *low pass filter* mungkin dapat mengatasi masalah *noise* ini.



Gambar 6 Performa sistem pengiriman gambar oleh laser menggunakan teknik 2-PWM dengan variasi jarak transmisi dari 30 cm hingga 900 cm



Gambar 7 Perbandingan performa sistem pengiriman gambar oleh laser menggunakan teknik 2-PWM dan 4-PWM dengan variasi jarak transmisi antara Tx dan Rx

IV. KESIMPULAN

Pengiriman data gambar menggunakan sistem komunikasi cahaya tampak dengan teknik modulasi 2-PWM dan 4-PWM berhasil dilakukan. Data gambar yang dihasilkan oleh sensor kamera OV2640 dapat ditransmisikan melalui laser merah dengan kecepatan transmisi 20 bps dan 40 bps pada jarak maksimal 800 cm dan 600 cm, berturut-turut, dengan nilai BER dibawah nilai FEC limit. Jika jarak melebihi dari 800 (skema 2-PWM) dan 600 cm (4-PWM), maka nilai BER akan semakin besar yang membuat gambar tidak dapat ditampilkan karena gagal dikonversi akibat bit yang eror. Dengan ukuran gambar 1,41 kB maka diperlukan waktu pengirimnya sekitar 9,4 menit jika menggunakan modulasi 2-PWM atau 4,7 menit saat menggunakan teknik 4-PWM.

DAFTAR PUSTAKA

- Charisma, A., Nur Akbar Setiawan, R., Taryana, E., Yuliana, H., & Rike Indriani, A. (2021). Sistem Komunikasi Audio dengan Teknologi Visible Light Communication (VLC) Menggunakan Laser Led. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 11(2), 113–122. <https://doi.org/10.31849/digitalzone.v12i2.7519>
- Fuada, S., Rosmianto Aji Saputro, Muhammad Luthfi, Trio Adiono (2021). FPGA-based Visible Light Communication System for Real-Time File Transmission. *TEM Journal* 10(1).
- Fuada, S.; Setiawan, E.; Adiono, T.; Popoola, W.O (2022). Design and verification of SoC for OFDM-based visible light communication transceiver systems and integration with off-the-shelf analog front-end. *Optik*, 258, 168867.
- Gupta, D. N. (2020). Wireless Communication using VLC and MIMO Technology. *International Journal of Innovative Research in Engineering & Multidisciplinary Physical Sciences*, 8(6), 114–119. <https://doi.org/10.37082/ijirmps.2020.v08i06.012>
- Hou, Y., Wang, Z., Li, Z., Hu, J., Ma, C., Wang, X., Xia, L., Liu, G., Shi, J., Li, Z., Zhang, J., Chi, N., & Shen, C. (2024). Laser-Based Mobile Visible Light Communication System. *Sensors*, 24(10), 3086. <https://doi.org/10.3390/s24103086>
- Ibnugraha, P. D., Rosmiati, M., & Ramadan, L. O. B. (2023). Mengirim Data Berupa Video Melalui Cahaya Tampak (Visible Light Communication) Berbasis Arduino Uno. *E-Proceeding of Applied Science*, 9(5), 2339–2345
- Islami, A. C., Adriansyah, N. M., & Pramukti, B. (2022). Analisis Performansi Pengiriman Data Atau Informasi Menggunakan Laser Dengan Panjang Gelombang 560 NM Dan 570 NM Pada Alat Pendeteksi Tsunami. *EProceedings of Engineering*, 8(6), 2786–2791
- Kurniawati, E., & Basuki, A. Y. (2021). Prototipe Alat Transmisi Data menggunakan Gelombang Cahaya berbasis Arduino. *Jurnal Teknologi Elektro*, 12(2), 88. <https://doi.org/10.22441/jte.2021.v12i2.007>
- Majeed, A. H., & H. Naser, H. (2022). Image Transfer Using Lifi Technology. *Iraqi Journal of Information and Communication Technology*, 5(2), 1–9. <https://doi.org/10.31987/ijict.5.2.193>
- Mohan, Y. N. S. V., & Raja, A. S. (2021). A Survey on Solar Cell based Receivers Used for Optical Wireless Communication. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 32–36
- Rehman, S. U., Ullah, S., Chong, P. H. J., Yongchareon, S., & Komosny, D. (2019). Visible Light Communication: A System Perspective—Overview and Challenges. *Sensors (Switzerland)*, 19(5), 1–22. <https://doi.org/10.3390/s19051153>
- Sandoval-Reyes, S. (2019). Image Transmission & Reception Using Visible Light. 2019 28th International Fall Meeting on Communications and Computing, ROC and C 2019 - Proceedings, 5–8. <https://doi.org/10.1109/ROCC.2019.8873532>
- Tsaqifurrosyid, A., Rosmiati, M., & Rizal, M. F. (2020). Image Transmission Using Visible Light Communication in Data Communication. *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 18(4), 1771–1776. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.V18I4.14892>
- Turnip, Y. A. A., Darlis, D., & Darlis, A. R. (2019). Uji Coba Sistem Pemantau Kondisi Aquarium Berbasis Underwater Visible Light Communication. *E-Proceeding of Applied Science*, 5(1), 421–431
- W. Wang, H. Sharif, M. Hempel, T. Zhou and P. Mahasukhon (2008). Throughput vs. Distance Tradeoffs and Deployment Considerations for a Multi-Hop IEEE 802.16e Railroad Test Bed. VTC Spring 2008 - IEEE Vehicular Technology Conference. doi: 10.1109/VETECS.2008.570.
- Yazgan (2011). The tradeoff between bit error rate and link distance for a constant signal to noise ratio in Coherent Optical OFDM systems. 34th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP). doi: 10.1109/TSP.2011.6043758.
- Zaiton, A. M., Muhammad, H. R., & Jasman, F. (2020). Solar Panel Receiver Characterisation for Indoor Visible Light Communication System. *Journal of Physics: Conference Series*, 1502(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1502/1/012016>