

Desain dan Realisasi Sistem Komunikasi Cahaya Tampak untuk *Streaming* Teks berbasis PWM

Trio Adiono¹, Syifaulyu Fuada¹, Angga Pradana¹

¹University Center of Excellence on Microelectronics, Institut Teknologi Bandung. IC Design Laboratory, Gedung PAU Lt. IV, Kampus ITB, Jln. Tamansari No.126, Kota Bandung (40132), Jawa Barat.

Informasi Artikel

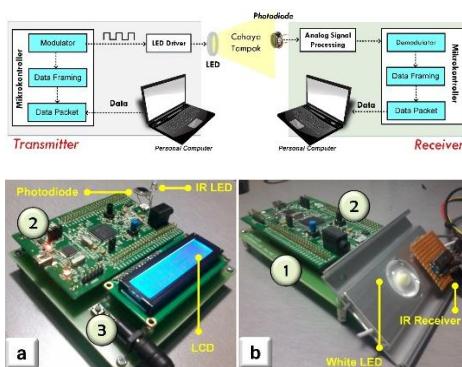
Naskah Diterima : 6 Desember 2017

Direvisi : 6 Januari 2017

Disetujui : 6 Januari 2018

*Korespondensi Penulis : syifaulyu@pme.itb.ac.id

Graphical abstract



Abstract

The design and implementation of visible light communication systems for transmitting digital data (texts) have been discussed in this paper. Then, two evaluations were performed also, i.e. the demonstration of streaming text through the visible light as a proof-of-concept system design. The next evaluation is a BER measurement intended to know the VLC system performance quantitatively. The value of BER against the several parameters: by the variation of distance and its reception angle. The proposed VLC system works well until the photodiode reception angle to the LEDs up to 50°. According to evaluation, our system can operate optimally within 30 – 80 cm or 50 – 130 cm of optical channel range depending on the Gain setting option. To support the reliability of noise from ambient light and interference lamps such as fluorescent lamps, the filters circuit are employed: high pass filter and DC-offset remover. Based on the BER analysis, the filters can compensate the problem of ambient light noise (DC-offset signal) and interference lamp (100-150 Hz of carrier frequency). The speed of data-rate obtained with 1-PWM modulation and the low-cost analog component is 3.3 kbps.

Keywords: Visible light communication, PWM, Real-time, Text streaming

Abstrak

Perancangan dan implementasi sistem komunikasi cahaya tampak untuk mengirim data digital berupa teks telah dibahas dalam makalah ini. Kemudian, juga dilakukan dua bentuk evaluasi, yakni dengan demonstrasi *streaming* teks lewat cahaya tampak sebagai *proof-of-concept* desain sistem dan berikutnya adalah pengukuran BER yang dimaksudkan untuk mengetahui performa sistem VLC secara kuantitatif dengan parameter variasi jarak dan sudut penerimaan. Sistem dapat bekerja dengan baik sampai sudut penerimaan *photodiode* terhadap LED sampai 50°. Sistem VLC dapat beroperasi optimal dalam jarak kanal optik 30 – 80 cm atau 50 – 130 cm yang bergantung dari opsi pengaturan Gain. Untuk mendukung kehandalan terhadap *noise* dari *ambient light* dan *interference lamp* seperti lampu neon, digunakan rangkaian bentuk *filter* yakni HPF dan *DC-offset remover*. Berdasarkan hasil analisa BER, *filter* dapat mengkompensasi problem dari lampu-lampu gangguan tersebut. Kecepatan laju data yang diperoleh dengan modulasi 1-PWM dan *low-cost* komponen analog adalah 3,3 kbps.

Kata kunci: Komunikasi cahaya tampak, PWM, Real-time, Streaming teks

© 2017 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Visible Light Communication (VLC) memanfaatkan panjang gelombang 380 nm – 780 nm sebagai medium penghantar informasi yang merupakan spektrum cahaya tampak. Sifat dari komunikasi ini adalah tidak memiliki lisensi dibandingkan dengan komunikasi *Radio Frequency* (RF) yang memiliki *rule* pemakaian *frequency band* tertentu [1]. Oleh karena itu, *frequency band* dari VLC bebas dipergunakan. Adapun keunggulan teknologi VLC lainnya yakni memiliki *bandwidth* 10.000 kali lebih lebar dari pada RF [2], dengan demikian dapat berpotensi sebagai media teknologi *wireless*

alternatif dari RF yang saat ini telah penuh. Tabel 1 menunjukkan perbandingan VLC dengan teknologi *short-range wireless communication*, seperti *Near Field Communication* (NFC) dan *Bluetooth Low Energy* (BLE). Dapat diperlihatkan bahwa VLC memiliki keunggulan pada aspek regulasi pemakaian pita komunikasi, penyediaan *bandwidth* (secara teoretikal), kecepatan transmisi data, ketersediaan infrastruktur, dan faktor kerenangan terhadap interferensi elektromagnetik.

Tabel 1. Perbandingan teknologi *short-range* RF (NFC dan BLE) terhadap VLC, diambil dari [3-4]

Karakteristik	NFC	BLE	VLC
Standar komunikasi	ISO/IEC 14443 A&B, JIS X-6319: 4	<i>Bluetooth Core Specification</i> 4.0 / 4.1/ 4.2	IEEE 802.157 VLCC JEITA CP-1223
<i>Bandwidth</i>	13.56 MHz	2.4 GHz	400 nm (750 THz) – 700 nm (428 THz)
Regulasi pemakaian frekuensi	Teregulasi, <i>Bandwidth</i> terbatas	Teregulasi, <i>Bandwidth</i> terbatas	Tidak teregulasi
Kecepatan transmisi data	424 Kbits/s	300 Kbits/s	Mb/s-Gb/s
Jarak transmisi data	< 10 cm	< 70 m	< 120 m
Kematangan teknologi	Matang	Matang	Belum matang
Interferensi gelombang elektromagnetik	Ya	Ya	Tidak
Infrastruktur	<i>Acces point</i>	<i>Acces point</i>	Perangkat penerangan
<i>Vision line</i>	Ya (kontak langsung)	Tidak	Ya / Tidak (dengan konfigurasi LOS / non-LOS)
Konsumsi energi	Sangat rendah	<i>Medium</i>	Rendah, <i>Medium</i> , Tinggi (bergantung pada daya LED yang dipakai)
Interaksi mobilitas	Tidak ada	Luas	Terbatas (sifat cahaya tidak dapat menembus objek padat)
Transmisi <i>Machine-to-Machine</i> (M2M)	<i>Bidirectional</i>	<i>Bidirectional</i>	<i>Bidirectional</i>
Resiko pemakaian	Tidak ada	Ya (emisi sinyal RF)	Kesehatan mata dan <i>mood</i>
Sensitivitas terhadap <i>noise</i>	Tidak	<i>Other users</i>	Kondisi lingkungan

Teknologi VLC telah banyak dipraktikkan untuk pengiriman data-data digital, misalnya *streaming* konten multimedia berupa audio [5-6], video [7], audio-video, *voice*, ataupun citra digital [8-9], ataupun teks [10-12] secara *real-time*. Terkait dengan konten teks, salah satu contohnya dilaksanakan oleh S. Jeenawong, dkk yang mendemonstrasikan transmisi karakter sederhana melalui cahaya tampak, yakni “V”, “L”, “C”. Dengan LED berdaya rendah yakni 5 Watt, sistem dapat dipakai dalam jarak 5,4 meter dan *baudrate* mencapai 115200 bps [13]. Selanjutnya S. Shakeera, dkk juga melakukan penelitian serupa, yakni mendemonstrasikan pengiriman karakter “0” dan “1”, adapun sensor yang dipakai adalah LDR yang mana memiliki sensitifitas lebih lambat dari pada APD atau PIN *Photodiode* sehingga kecepatan laju data yang dipakai sangat rendah [14]. Kemudian, N. Yudharama, dkk melakukan rancang bangun sistem VLC dan analisisnya untuk keperluan *streaming* teks, maksimum *Bit rate* yang dapat dikejar adalah 19200 bps dengan jarak kanal optik maks. pada lima belas sentimeter [15]. pada lingkungan dalam ruang (*indoor*).

Sistem VLC pada penelitian [13-15] idealnya hanya dapat didemonstrasikan pada lingkungan yang gelap atau tanpa sumber cahaya lain (~0 lux) karena tidak dilengkapi dengan rangkaian *filter* pada blok *receiver*. Suatu rangkaian *filter* diperlukan untuk mengkompensasi sinyal *direct current* (DC) yang bersumber dari *ambient light noise* (yakni: lampu senter dan cahaya matahari) dan *interference lamp noise* (yakni: *incandescent* atau lampu pijar dan *fluorescent* atau lampu neon). Sinyal-sinyal tersebut dapat mempengaruhi performa sistem komunikasi, yakni menjadikan nilai *bit error-rate* (BER) besar. Dengan demikian, *noise* sinyal pada sistem VLC harus diminimalisir [16-18].

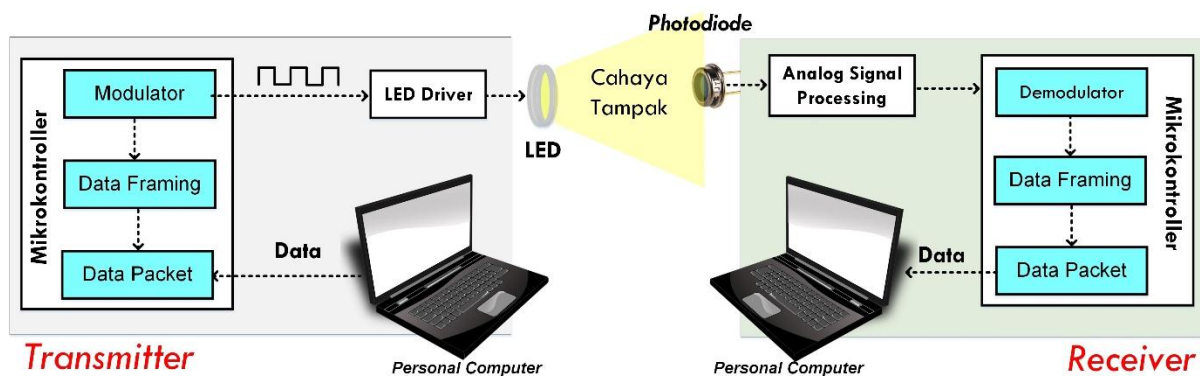
Pada penelitian ini, penulis melakukan rancang bangun sistem komunikasi cahaya tampak dengan *pulse width modulation* (PWM) sebagai *carrier signal* dan Mikrokontroler STM32 sebagai perangkat *digital signal processing* (DSP). *Use-case* dari penelitian ini adalah untuk *streaming* konten

running texts berbasis VLC dalam lingkungan dalam ruang/indoor. Pada bagian receiver ditambahkan dua rangkaian filter, yakni sirkuit DC-offset remover untuk menghilangkan sinyal DC akibat pengaruh ambient light dan sirkuit high-pass filter untuk mereduksi noise dari interference lamp. Diharapkan hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai salah satu referensi untuk pengembangan VLC yang handal terhadap pengaruh lingkungan luar sistem, seperti ambient light atau interference lamp noise.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Penentuan Spesifikasi Sistem

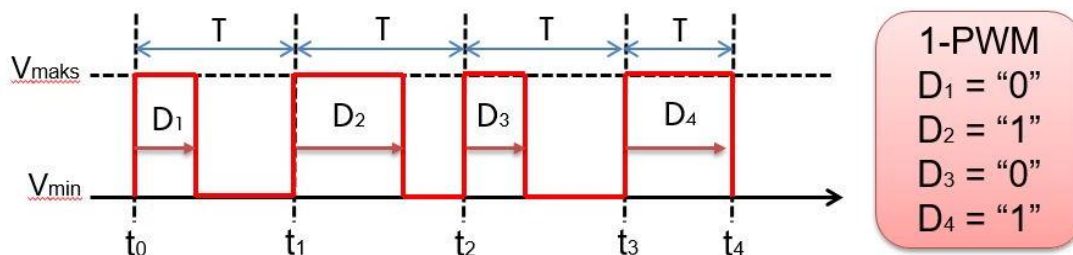
Gambar 1 menunjukkan usulan rancangan sistem VLC, terdiri atas host dan client user yang mana masing-masing terdiri atas blok DSP dan analog. Topologi komunikasi yang dipakai adalah one-way point-to-point (untuk keperluan downlink saja). LED dipilih sebagai antenna transmitter dan PIN photodiode dipilih sebagai antenna receiver. Sedangkan kanal optik yang dipilih adalah line-of-sight (LOS) yakni perangkat host dan perangkat client user dihadapkan langsung. Pada komputer host dan user client dipasang aplikasi Graphic User Interface (GUI) untuk menampilkan data yang dikirim dan diterima. Pada penelitian ini, digunakan modulasi digital yakni PWM dengan alasan karena mampu membawa lebih banyak bit dibandingkan modulasi konvensional yakni on-off keying (OOK).



Gambar 1. Diagram blok sistem VLC

2.2 Modulasi PWM

Beberapa teknik modulasi digital telah dipraktekkan untuk sisteem VLC antara lain OOK, Pulse Position Modulation (PPM) dan PWM. Modulasi OOK kurang direkomendasikan dalam kecepatan rendah, karena kondisi LED bergantung pada data yang ditransmisikan, ketika transmitter memiliki deretan data '0' sebanyak 1 byte, maka tentu LED akan dalam keadaan padam pada waktu yang lebih lama. Selanjutnya, modulasi OOK juga kurang efisien dalam memanfaatkan bandwidth. Sementara modulasi PPM cenderung lebih rumit dalam implementasinya. PWM memodulasi data terhadap lebar pulsa (Gambar 2), jenis modulasi ini dapat mendukung modulasi multi-level sehingga pulsa untuk tiap satu periode mampu membawa bit yang lebih banyak, misalnya 2-PWM, 3-PWM, 4-PWM, dst. Namun pada penelitian ini diimplementasikan 1-PWM. Target bit rate data pada modulasi 1-PWM ini adalah mencapai 3 kbps, maka periode pulsa (T) haruslah disetel sebesar $T = \frac{1 \text{ bit}}{3000 \text{ bit/s}}$ sehingga periode pulsa (T) yang digunakan adalah sebesar 0,3333 ms atau 0,35 ms.



Gambar 2. Pulsa PWM untuk sistem VLC

2.3 Pemilihan Komponen

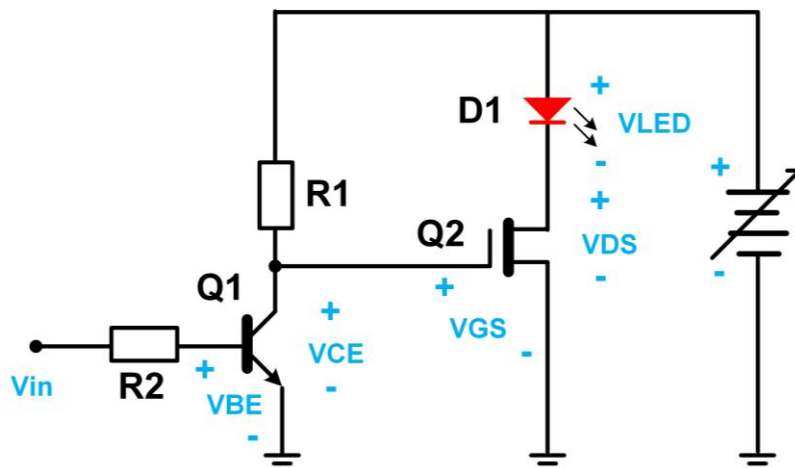
Komponen-komponen elektronika yang utama untuk *Hardware* sistem VLC secara garis besar mencakup LED sebagai *antenna* pemancar, *Photodetector* sebagai *antenna* penerima, Op-Amp sebagai *analog signal processing*, dan Mikrokontroler. Pertimbangan pemilihan komponen berdasarkan spesifikasi aplikasi dan juga kebutuhan yang mana sistem VLC pada penelitian ini hanya untuk transfer teks, maka dari itu digunakanlah komponen yang bersifat *low-cost*.

Pada penelitian ini, digunakan modul LED Coochip dengan model LEDMD-W110C yang diproduksi oleh Hyrite Lighting.co (<http://www.hyrite.com/coochip-led-module-ledmd-w110c.html>), modul LED tersebut menggunakan chip LED Epistar dengan warna menyala putih. Tegangan Kerja sebesar 12 V_{DC} dengan Daya maksimum 9 Watt. Adapun spesifikasi lainnya adalah memiliki sudut pancaran yang lebar yakni 178° sehingga memungkinkan iluminansinya mampu menjangkau sudut sempit. Sementara intensitas cahaya yang dipancarkan adalah 550 lumen yang mana sesuai spesifikasi standar penerangan dalam ruang pada rumah hunian. Sedangkan pada sisi *antenna* penerima, dipilih PIN *Photodiode* model KODENSHI SP-8ML [19], spesifikasi *photodiode* ini adalah: 1) memiliki luas penampang efektif (A_r) sebesar 7,4 mm², 2) cakupan area panjang gelombang (λ) adalah 450 – 1050 nm yang mana melingkupi area cahaya tampak (*visible light*) ke inframerah, dan memiliki *short circuit* (I_{SC}) atau *photocurrent* sebesar 270 μ A pada saat 1000 lux.

Pada penelitian ini terdapat dua tipe Op-Amp yang dipakai, yakni OP-AMP *general purpose* (Model: LM358) yang diproduksi oleh Texas Instrument.Inc memiliki *Gain bandwidth Product*: 1 MHz saat Gain = 1 kali. Tipe Op-Amp yang kedua adalah OP-AMP *specific purpose* (Model: AD8011AN) yang mana hanya difungsikan sebagai *Trans-impedance Amplifier* (TIA), Op-Amp ini memiliki *Gain bandwidth Product*: 300 MHz saat Gain = 1 kali dan *Rise/fall time* mencapai 0,4 ns. Sedangkan perangkat DSP memanfaatkan modul mikrokontroler STM32F4 *discovery* (ARM Cortex M4, f_{clock} maksimum = 168 MHz). *Development board* ini sudah cukup memadai untuk dipakai dalam *sampling analog-to-digital converter* (ADC) dari data-data relative berukuran kecil seperti teks.

2.4 Desain Blok Analog Front-End (AFE)

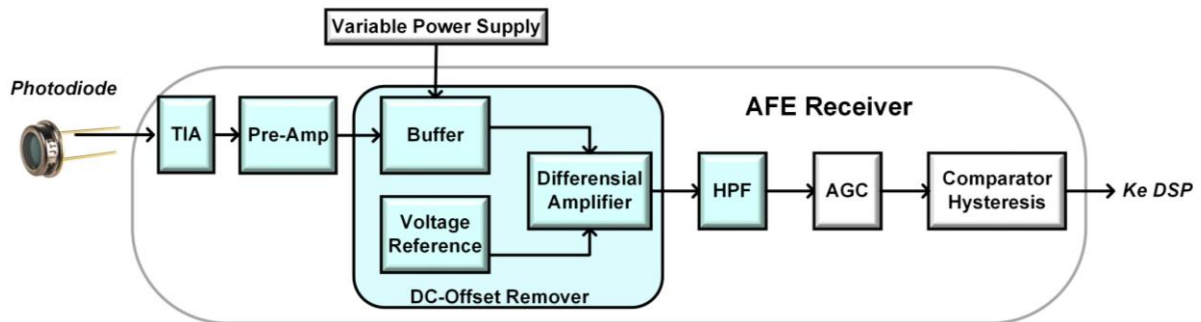
Blok analog terdiri atas dua bagian, yakni LED *driver* dan AFE *receiver*. LED *driver* yang dipilih adalah jenis *switch* yang mana digunakan untuk mengkondisikan sinyal digital seperti PWM [20]. Kondisi LED “menyala” dinyatakan dalam logika “1” yang mana transistor diatur saturasi dan begitu pula sebaliknya, kondisi LED “padam” dinyatakan dalam logika “0” yang mana transistor diatur *cut-off*. Prinsip LED driver jenis *switch* berbeda dengan LED driver linear [21-23]. Rangkaian *switch* LED driver dan *variable power supply* untuk pengaturan intensitas cahaya dari LED, ditunjukkan pada Gambar 3



Gambar 3. Rangkaian *switch* LED driver dan *variable power supply* pada sistem transmitter VLC

Blok AFE *receiver* terdiri atas 4 *stage*: pertama adalah *trans-impedance amplifier* (TIA) sebagai konverter *photocurrent* ke tegangan atau V_{TIA} [24]. Topologi TIA yang dipilih adalah *photovoltaic*. Nilai V_{TIA} masih terlalu kecil untuk dibaca oleh ADC Mikrokontroler STM32 (min. 3,3 V_{DC}) sehingga diperlukan rangkaian *Pre-amplifier* sebagai penguat tegangan tahap pertama. Untuk

menghilangkan tegangan DC-offset digunakan rangkaian *DC-Offset Remover*. Sementara untuk mengkompensasi gangguan dari *interference lamp* (dalam hal ini adalah *incandescent* dan *fluorescent*), pada *stage* selanjutnya digunakan rangkaian *high pass filter* untuk menapis frekuensi dibawah 100 Hz yang merupakan frekuensi *carrier* dari *interference lamp*. Blok AFE receiver secara lengkap divisualisasikan pada Gambar 4.

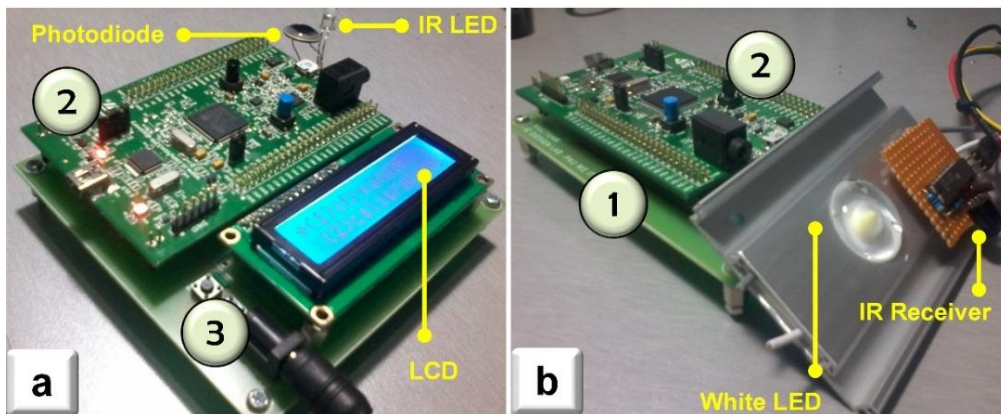


Gambar 4. Blok AFE receiver yang terdiri atas TIA, Pre-Amplifier, DC-Offset Remover dan HPF

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Realisasi Perangkat Keras

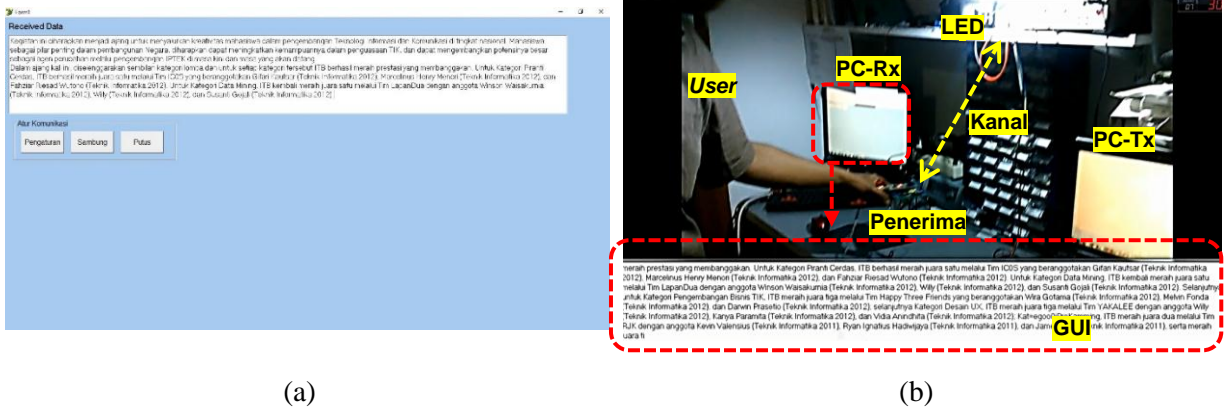
Implementasi *Hardware* dari sistem VLC ditunjukkan pada Gambar 5(a) dan Gambar 5(b). Modul *Host VLC (transmitter)* terdiri atas *development board* mikrokontroler STM32, LED driver, dan LED 8 Watt. Fungsi dari *Host* adalah sebagai pemancar sinyal informasi informasi. Sedangkan modul *user client VLC (receiver)* terdiri atas modul *photodiode* KODENSHI SP-8ML, AFE receiver, dan *development board* mikrokontroler STM32. Fungsi dari *user client* adalah sebagai penerima sinyal informasi yang dipancarkan oleh *Host VLC*. Informasi yang diterima tersebut ditampilkan pada komputer melalui koneksi USB. PCB rangkaian LED driver dan AFE receiver buat dengan bantuan perangkat lunak (*software*) PROTEUS® yang mana memiliki keunggulan dalam hal penyediaan macromodel komponen yang sangat lengkap, interaktivitas GUI yang baik, kelengkapan alat ukur virtual, dan cukup mampu dipergunakan sebagai *proof-of-concept* suatu rangkaian [25].



Gambar 5. Perangkat keras sistem VLC: (a) pemancar/transmitter; (b) penerima/receiver

3.2 Demonstrasi *Real-time* transfer konten teks

Langkah selanjutnya setelah direalisasikan perangkat keras VLC, adalah melakukan demo untuk *proof-of-concept* sistem yang telah dirancang. Gambar 6(b) merupakan *screenshot* video tentang demonstrasi *running text* yang mana mula-mula teks dikirim dari komputer *transmitter* (PC-Tx) dan diterima oleh komputer *receiver* (PC-Rx) melalui cahaya tampak. Gambar 6(a) merupakan tampilan teks yang diterima, GUI dibangun menggunakan *software* Delphi 7.0. Hasil menunjukkan bahwa *streaming* teks dapat didemonstrasikan dengan baik.

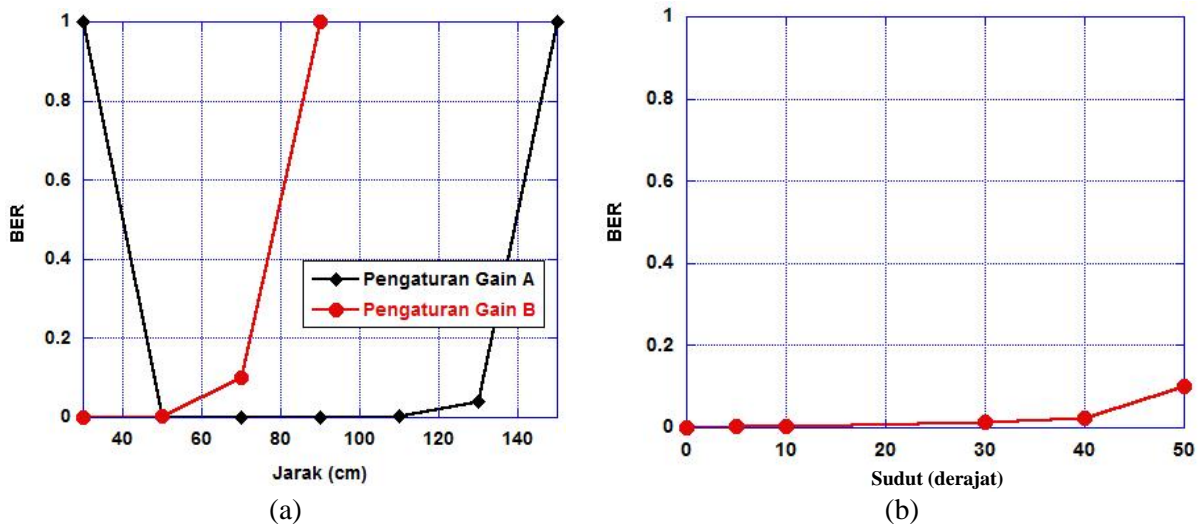


Gambar 6. (a) Screenshot aplikasi GUI pada komputer receiver/ PC-Rx; (b) Cuplikan video demonstrasi sistem VLC berbasis PWM dalam streaming konten teks dari PC-Tx ke PC-Rx.

3.3 Evaluasi Sistem VLC dengan Analisa BER

Berbeda dengan pengujian secara demonstrasi yang hanya menerapkan metode *proof-of-concept*, pengukuran secara kuantitatif performa sistem VLC perlu dilakukan yakni melalui analisa BER. Metode pengukuran BER adalah dengan mengirimkan data berupa teks melalui perangkat PC transmitter ke PC receiver dengan medium cahaya tampak, topologi pengujian memakai *point-to-point communication*. Adapun variabel eksperimen yang dilakukan adalah saat transfer data berlangsung, kondisi ruangan harus nol lux (toleransi maksimum 15 lux), kemudian jarak antara receiver terhadap transmitter (kanal optik) divariasikan dalam sudut nol derajat (30 cm, 50 cm, 70 cm, 90 cm, 110 cm, 130 cm, dan 150 cm). Sedangkan pengujian BER terhadap perubahan orientasi sudut penerimaan adalah variasi *angle* sebagai berikut: 0°, 5°, 10°, 30°, 40°, dan 50° dengan jarak kanal optik pakem, yakni 60 cm.

Pengiriman teks sebanyak 10 kb dari PC coordinator ke PC client dilaksanakan untuk keperluan perhitungan BER, adapun modulasi yang dipakai adalah modulasi 1-PWM. Sementara Rumus BER dalam penelitian ini adalah menggunakan persamaan: $BER = \frac{\text{Data diterima}}{\text{Data terkirim}}$, yakni membandingkan *bit* data yang diterima oleh receiver dengan *bit* data yang dikirim oleh transmitter. Ketika BER = ~1, maka data yang diterima memiliki potensi *error* yang besar dan saat sama dengan 1, maka data kemungkinan tidak diterima sama sekali.



Gambar 7. (a) BER terhadap variasi pengaturan Gain pada AFE receiver; (b) BER terhadap variasi perubahan sudut penerimaan (*angle of reception*) dari modul user client terhadap modul Host

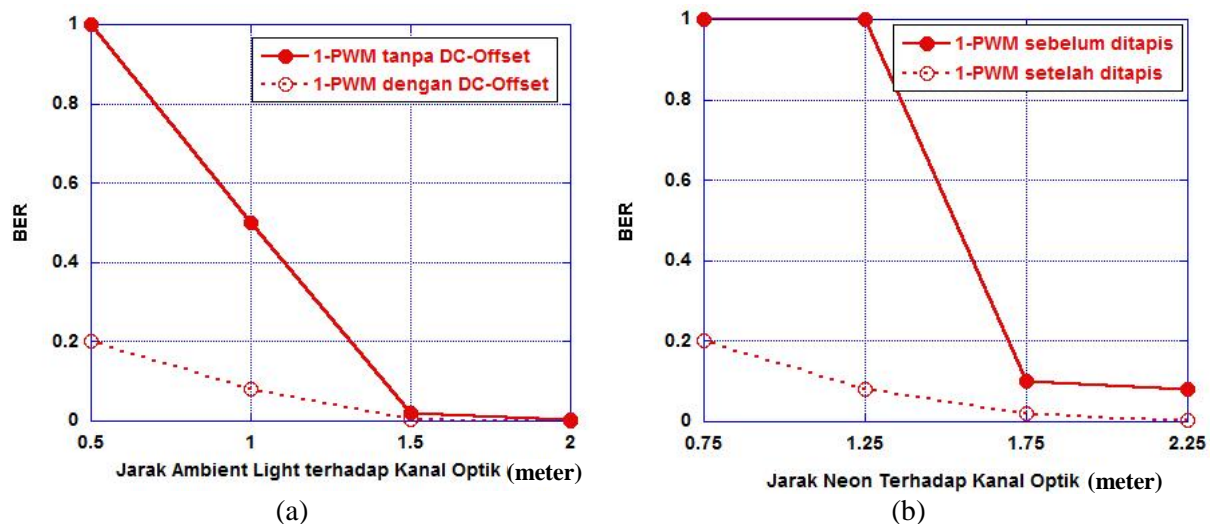
Gambar 7(a) menunjukkan hasil pengukuran BER terhadap dua opsi pengaturan Gain. Pada opsi pengaturan Gain A, dengan jarak kanal optik sejauh 30 cm, data tidak diterima sama sekali, BER = 1, karena V_{TIA} saturasi yang diakibatkan oleh *photocurrent* besar (jarak *photodiode* terlalu dekat

dengan LED). Dan sebaliknya, data juga tidak diterima sama sekali ketika jarak kanal optik semakin jauh. Karena *photodiode* menerima level iluminansi dari LED yang lemah. Jarak efektif dari pengaturan Gain A adalah 50 cm sampai 130 cm. Opsi pengaturan Gain B merupakan penyesuaian level iluminansi dari LED agar lebih sesuai dengan spesifikasi sistem, yakni mampu mengkompensasi jarak yang terlalu dekat. Berdasarkan hasil pengukuran, maka jarak ideal untuk sistem VLC yang dirancang dapat bekerja dengan baik dalam jarak 20 cm maksimal namun jarak kanal optimum hanya menggapai 30 cm sampai 80 cm.

Pada penelitian ini, digunakan opsi pengaturan Gain B. Hasil pengujian tentang pengaruh BER terhadap variasi sudut penerimaan disajikan pada Gambar 7(b). Berdasarkan data hasil, dapat ditarik kesimpulan bahwa sistem VLC mampu bekerja dengan baik dengan perubahan orientasinya sampai sudut 50 derajat dengan jarak antara LED ke *photodiode* sejauh 60 cm.

3.4 Pengujian Filter Analog dan Ambient Light Compensator

Selanjutnya dilakukan pengukuran BER dengan keadaan *indoor* terdapat gangguan cahaya lain dari luar, yakni *ambient light* dan *interference lamp*. Untuk membangkitkan *DC-offset*, penulis menggunakan lampu senter LED berdaya 20 Watt. Sumber gangguan DC digunakan untuk menguji performa dari rangkaian *DC-Offset remover*. Sementara untuk menguji rangkaian HPF, digunakan lampu *fluorescent* (neon) tanpa *ballast*. Skenario pengujian mengacu pada percobaan pada Bab 3.2, yakni melakukan pengiriman teks dari PC-TX ke PC-RX melalui medium cahaya tampak. Namun selama proses transfer teks berlangsung, sumber DC dan selanjutnya lampu neon diletakkan disekitar *photodiode* atau modul *user client* dalam jarak tertentu.



Gambar 8. Pengukuran BER dengan: (a) sumber *ambient light*; (b) lampu neon

Grafik BER terhadap variasi jarak antara sumber DC dengan modul *user client* ditunjukkan pada Gambar 8(a). Nilai BER akan semakin besar ketika jarak sumber DC semakin dekat dengan *photodiode* karena *photocurrent* semakin besar. Dengan kata lain, sinyal informasi dari LED tertutup oleh cahaya sumber DC tersebut. *Photodiode* akan menerima *received power* yang linier terhadap level iluminansi [26]. Dari Gambar 8(a) dapat disimpulkan bahwa penggunaan rangkaian *DC-Offset remover* terbukti efektif dalam menurunkan BER.

Grafik BER terhadap variasi jarak antara lampu neon dengan modul *user client* ditunjukkan pada Gambar 8(b). Nilai BER akan semakin besar ketika jarak lampu neon semakin dekat dengan *photodiode*. Dari Gambar 8(a) dapat disimpulkan bahwa penggunaan rangkaian HPF pada sistem VLC dapat bekerja dengan baik untuk meredam sinyal interferensi yang disebabkan oleh lampu neon (100 – 150 Hz) dan dapat menurunkan nilai BER. Detail evaluasi disajikan pada paper [27].

3.5 Komparasi dengan Penelitian Lain

Tabel 1 menunjukkan perbandingan dengan beberapa penelitian terkait dengan *streaming* konten teks menggunakan medium cahaya tampak dengan variabel kecepatan laju data yang didapatkan dan jarak kanal optik optimum yang dapat dicapai serta kelengkapan fitur untuk

mengkompensasi lampu pengganggu. Berdasarkan observasi secara kajian pustaka dari kelima artikel ilmiah perbandingan, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini unggul dalam fitur. Ketika menggunakan opsi pengaturan Gain A, maka penelitian penulis lebih unggul dari faktor jarak kanal optik, yakni 130 sentimeter dengan LED 8 Watt. Keterangan N.A menyatakan *not available*, yakni tidak ada informasi valid dalam paper yang bersangkutan.

Tabel 1. Perbandingan dengan riset-riset yang pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya

Referensi	Modulasi	Bit rate	Jarak kanal Optik maks.	Filter Analog	Ambient Light Noise Compensator
Penelitian ini	1-PWM	3,3 kbps	80 cm atau 130 cm	Ada	Ada
[28]	1-PWM	920 bps	65 cm	N.A.	Tidak Ada
[29]	1-PPM	1 kbps	80 cm	Tidak Ada	Tidak Ada
[9]	N.A	19,2 kbps	115 cm	Tidak Ada	Tidak Ada
[15]	N.A	19,2 kbps	12 cm	Tidak Ada	Tidak Ada
[39]	OOK	9,6 kbps	N.A.	Tidak Ada	Tidak Ada

4. KESIMPULAN

Telah dilakukan perancangan, implementasi, dan evaluasi sistem VLC untuk *streaming* data digital berupa teks. Evaluasi dilaksanakan dengan uji fungsional sistem dengan demonstrasi pengiriman teks *via* cahaya tampak dan pengukuran BER terhadap jarak, sudut, dan pengaruh lampu pengganggu. Berdasarkan investigasi, pengaturan *Gain* dapat mempengaruhi kinerja sistem yakni menurunkan nilai BER dan mentolelir efek kanal optik yang terlalu dekat. Selain itu, penggunaan rangkaian *filter* dapat mengkompensasi sumber DC dalam lingkungan *indoor* (*ambient light*) dan mereduksi *noise* yang disebabkan oleh lampu neon. Adapun kecepatan data yang diperoleh adalah 3,3 kbps untuk modulasi 1-PWM. *Bit rate* yang rendah ini disebabkan karena pemakaian IC Op Amp 358 disemua sistem dimana *bandwidth produk* dari model Op Amp ini adalah maksimal 1 MHz, sehingga wajar mendapati hasil penelitian yang demikian. Pada penelitian berikutnya, akan dilakukan optimasi dengan pemilihan Op Amp dengan tipikal *high bandwidth* dan peningkatan daya LED agar iluminansi LED dapat menjangkau sampai 2 meter.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dibiayai oleh dana Hibah Penelitian dari KEMRISTEKDIKTI melalui skema Kerjasama Luar Negeri (KLN) kolaborasi dengan *Pukyong National University*-Korea Selatan, judul proyek penelitian "*Machine to machine communication (M2M) based on visible light communication (VLC)*" (No. Kontrak: 009/SP2H/LT/DRPM/IV/2017).

REFERENSI

- [1] R. Hou, Y. Chen, J. Wu, and H. Zhang, "A Brief Survey of Optical Wireless Communication," *Proc. of the 13th Australasian Symp. on Parallel and Distributed Computing* (AusPDC), pp. 41-50, January 2015.
- [2] S. Wu, H. Wang, and C-H. Youn, "Visible Light Communications for 5G Wireless Networking Systems: from Fixed to Mobile Communications," *IEEE Network*, pp. 41-45, December 2014.
- [3] G.C. García, I.L. Ruiz and M. Ángel, "State of the Art, Trends and Future of Bluetooth Low Energy, Near Field Communication and Visible Light Communication in the Development of Smart Cities," *MDPI Sensors J.*, Vol. 16, pp. 1-38, 2016. DOI:10.3390/s16111968.
- [4] S. Fuada, "Design and Implementation of Analog Front-End Transceiver Module for Visible Light Communication System," M.T. thesis, Dept. Elect. Eng., School of Electrical Engineering and Informatics, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia, 2017.
- [5] S. Fuada, and T. Adiono, "Rancang Bangun Layer Fisik Visible Light Communication Pada Sistem Transmisi Audio," *J. INFOTEL*, Vol. 9(3), pp. 352-360, August 2017. DOI: <https://doi.org/10.20895/infotel.v9i3.288>.

- [6] S. Fuada, A.P. Putra, and T. Adiono, "Short-range Audio Transfer through 3 Watt White LED based on LOS Channels," *Int. Conf. on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS)*, Xiamen, China, November 2017.
- [7] T. Adiono, R.A. Saputro, M. Luthfi, and S. Fuada, "A Real-time Wireless Video Streaming based on VLC Technology using FPGA," *Unpublished*.
- [8] T. Adiono, R.A. Saputro, M. Luthfi, and S. Fuada, "FPGA Implementation for Real-time File Transfer using Visible Light Communications," *Unpublished*.
- [9] N. Yudhabrama, et al, "Low Cost Visible Light Communication Transceiver Prototype for Real Time Data and Images Transfer," *Proc. of the ICCEREC*, PP. 7-10, 2017.
- [10] R. Sagotra and R. Aggarwal, "Visible Light Communication," *Int. J. of Computer Trends and Technology (IJCTT)*, Vol. 4(4), pp. 906-910, April 2013.
- [11] A. Pradana, S. Fuada, and T. Adiono, "Desain dan Implementasi Sistem *Visible Light Communication* berbasis *Pulse Width Modulation*," *Unpublished*.
- [12] P.P. Salian, et al, "Visible Light Communication," *Proc. of the 2013 Texas Instruments India Educator' Conf.*, pp. 379-383, 2013.
- [13] S. Jeenawong, et al., "Demonstration of Visible light Text data transmission system using LED lamp," *Proc. of the 15th Int. Conf. on Control, Automation and Systems (ICCAS)*, pp. 439-442, October 2015.
- [14] S. Shakeera, et al., "PC to PC File Transfer using Li-Fi Technology," *Int. J. of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, Vol. 46(3), pp. 143-145, April 2017.
- [15] N. Yudhabrama, et al, "Perancangan dan Analisis Pengiriman Data Digital berbasis Visible Light Communication," *Proc. of Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri*, pp. 1-7, Februari 2017.
- [16] T. Adiono, and S. Fuada, "Investigation of Optical Interference Noise Characteristics in Visible Light Communication System," *Proc. of the 2017 Int. Symp. on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA)*, pp. 612-615, December 2017.
- [17] S. Fuada, A.P. Putra, Y. Aska and T. Adiono, "A First Approach to Design Mobility Function and Noise Filter in VLC System Utilizing Low-cost Analog Circuits," *Int. J. of Recent Contributions from Engineering, Science, and IT (iJES)*, Vol. 5(2), pp. 14 – 30, 2017. DOI: [10.3991/ijes.v5i2.6700](https://doi.org/10.3991/ijes.v5i2.6700).
- [18] T. Adiono, and S. Fuada, "Optical Interference Noise Filtering over Visible Light Communication System Utilizing Analog High-Pass Filter Circuit," *Proc. of the 2017 Int. Symp. on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA)*, pp. 616-619, December 2017.
- [19] T. Adiono and S. Fuada, "Karakteristik PIN Photodiode KODENSHI SP-8ML untuk Aplikasi Visible Light Communication," *Unpublished*.
- [20] T. Adiono, S. Fuada, A.P. Putra, and Y. Aska, "Desain Awal *Analog Front-End Optical Transceiver* untuk aplikasi *Visible Light Communication*," *J. Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, Vol. 5(4), pp. 319-327, November 2016. DOI: [10.22146/jnteti.v5i4.280](https://doi.org/10.22146/jnteti.v5i4.280).
- [21] S. Fuada, T. Adiono, A. P. Putra, and Y. Aska, "A Low-cost Analog Front-End (AFE) Transmitter Designs for OFDM Visible Light Communications," *Proc. of the IEEE Int. Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)*, pp. 371-375, October 2016. DOI: [10.1109/ISESD.2016.7886750](https://doi.org/10.1109/ISESD.2016.7886750).
- [22] T. Adiono and S. Fuada, "Desain dan Implementasi LED Driver Linier untuk Aplikasi *Visible Light Communication*," *Unpublished*.
- [23] S. Fuada, T. Adiono T, A.P. Putra, Y. Aska, "LED Driver Design for Indoor Lighting and Low-rate Data Transmission Purpose," *Optik-Int. J. for Light and Electron Optics*, Vol. 156, pp. 847-856, 2017, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2017.11.180>.
- [24] S. Fuada, A.P. Putra, Y. Aska, and T. Adiono, "Trans-impedance Amplifier (TIA) Design for Visible Light Communication (VLC) using Commercially Available OP-AMP," *Proc. of the 3rd Int. Conf. on Information Tech. Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*, pp. 31-35, October 2016. DOI: [10.1109/ICITACEE.2016.7892405](https://doi.org/10.1109/ICITACEE.2016.7892405).
- [25] S. Fuada, "Perancangan Sistem Kontrol pada Prototip Pengereng Kerupuk Berbasis IC Digital Menggunakan Software Proteus 7.0," *J. Ilmiah Setrum*, Vol. 6(1), pp. 88-96, 2017.

- [26] 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 (IJACSA)*, Vol. 8(7), pp. 164-172, July 2017. DOI: [10.14569/IJACSA.2017.080722](https://doi.org/10.14569/IJACSA.2017.080722).
- [27] T. Adiono, A. Pradana, R.V.W. Putra, and S. Fuada, "Analog Filters Design in VLC Analog Front-End Receiver for Reducing Indoor Ambient Light Noise," *Proc. of the IEEE Asia Pacific Conf. on Circuit and Systems (APCCAS)*, pp. 581-584, October 2016. DOI: [10.1109/APCCAS.2016.7804058](https://doi.org/10.1109/APCCAS.2016.7804058).
- [28] A. Pradana, N. Ahmadi, T. Adiono, "Design and Implementation of Visible Light Communication System using Pulse Width Modulation," *Proc. of ICEEI*, pp. 25-30, August 2015.
- [29] A. Pradana, N. Ahmadi, T. Adiono, W.A. Cahyadi, and Y-H. Chung, "VLC Physical Layer Design based on Pulse Position Modulation (PPM) for Stable Illumination," *Int. Symp. on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS)*, pp. 368-373, November 2015.
- [30] Z. Song and S. Peng, "A Simple Implementation of Long Distance Visible Light Communication System," *Proc. of the ICMIC and ICOEE*, pp. 349-355, 2016.