

OAJIS

Open Access
Journal of
Information
Systems

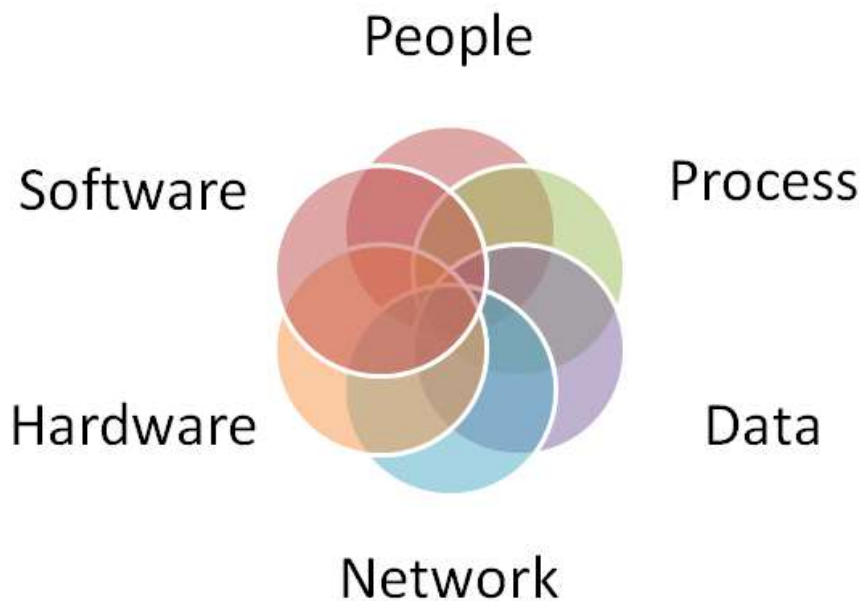
is.its.ac.id/pubs/oajis/

ISSN 1979-3979



SISFO

Inspirasi Profesional Sistem Informasi



OAJIS

Open Access
Journal of
Information
Systems
is.its.ac.id/pubs/oajis/

SISFO

Inspirasi Profesional Sistem Informasi

Jurnal Sisfo Vol. 08 No. 01 (2018) i-ii



Pimpinan Redaksi

Faizal Mahananto

Dewan Redaksi

Eko Wahyu Tyas Darmaningrat

Amna Shifia Nisafani

Arif Wibisono

Retno Aulia Vinarti

Rully Agus Hendrawan

Tata Pelaksana Usaha

Achmad Syaiful Susanto

Rini Ekowati

Sekretariat

Departemen Sistem Informasi – Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) – Surabaya

Telp. 031-5999944 Fax. 031-5964965

Email: editor@jurnalsisfo.org

Website: <http://jurnalsisfo.org>

Jurnal SISFO juga dipublikasikan di *Open Access Journal of Information Systems* (OAJIS)

Website: <http://is.its.ac.id/pubs/oajis/index.php>

OAJIS

Open Access
Journal of
Information
Systems
is.its.ac.id/pubs/oajis/

SISFO
Inspirasi Profesional Sistem Informasi

Jurnal Sisfo Vol. 08 No. 01 (2018) i-ii



Mitra Bestari

Anisah Herdiyanti, S.Kom., M.Sc., ITILF. (Institut Teknologi Sepuluh Nopember)

Hatma Suryotrisongko, S.Kom., M.Eng. (Institut Teknologi Sepuluh Nopember)

Mahendrawathi ER, S.T., M.T., Ph.D. (Institut Teknologi Sepuluh Nopember)

Nur Aini Rakhmawati, Ph.D. (Institut Teknologi Sepuluh Nopember)

Riska Asriana Sutrisnowati, Ph.D. (Pusan National University, Korea)

Satria Fadil Persada, S.Kom., M.BA., Ph.D. (Institut Teknologi Sepuluh Nopember)



Daftar Isi

Rancang Bangun Sistem Komunikasi Cahaya Tampak dengan Modulasi 2-PWM Berbasis Mikrokontroller

Trio Adiono, Angga Pradana, Syifaul Fuada 1

Perbandingan Algoritma Kemiripan Teks Untuk Perbaikan dan Saran Penulisan Frasa dalam Bahasa Alami

Nambi Sembilu, Febriliyan Samopa, Mahendrawathi Er..... 19

Analisis Karakteristik Pemilik Terhadap Kesiapan Teknologi Informasi pada Usaha Makanan dan Minuman

Virginia Clara Ardelia, Mahendrawathi Er..... 33

Pengaruh Budaya Organisasi pada Kesuksesan Implementasi Sistem ERP: Studi Kasus PT XYZ

Firman Jati Pamungkas, Mahendrawathi Er 55

Pembuatan *Standard Operating Procedure* Pengembangan Sistem Informasi Manajemen: Studi Kasus DPTSI ITS

Anisah Herdiyanti, Ari Cahaya Puspitaningrum, Hanim Maria Astuti, Umi Laili Yuhana 67

Halaman ini sengaja dikosongkan

Rancang Bangun Sistem Komunikasi Cahaya Tampak dengan Modulasi 2-PWM berbasis Mikrokontroler

Trio Adiono^a, Angga Pradana^b, Syifaul Fuada^{b,*}

^aSekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung

^bUniversity Center of Excellence on Microelectronics, Institut Teknologi Bandung

Abstract

Visible light communication (VLC) uses visible light as a communication medium. Some considerations are required to build a VLC system, including the physical- and the MAC-layer. The modulation technique is one part of the physical-layer that has substantial role because it can determine the performance of VLC systems (e.g. transfer speed, dimming, flickering, BER). The modulation technique applied to VLC system must support fast access by utilizing the available bandwidth along with low BER value, then it should not cause flickering or dimming effects that can influence the LED function as a lighting device. In this study, the VLC system is designed based on 2-PWM modulation (variance of PWM). The designed system includes transmitter and receiver with STM32F4 Microcontroller as DSP. Evaluation is done by comparing bitrate and BER between 1-PWM with 2-PWM in which the data transfer rate of 2-PWM is higher than 1-PWM, but its optical channel distance is shorter than 1-PWM modulation.

Keywords: 2-PWM Modulation, Microcontroller STM32F4, Visible Light Communication System

Abstrak

Komunikasi cahaya tampak memanfaatkan cahaya tampak sebagai medium perambatan komunikasi. Untuk membangun sistem VLC, diperlukan beberapa pertimbangan yang mencakup lapisan fisik dan lapisan MAC. Teknik modulasi merupakan salah satu bagian dari lapisan fisik yang memiliki peran substansial karena dapat menentukan kinerja sistem (kecepatan transfer, *dimming*, *flickering*, *bit-error-rate*/BER, dll). Teknik modulasi yang digunakan VLC harus mendukung akses cepat dengan memanfaatkan *bandwidth* yang tersedia disertai oleh nilai BER yang rendah, kemudian tidak boleh menimbulkan efek *flickering* atau *dimming* yang dapat mengganggu fungsi LED sebagai perangkat penerangan. Pada penelitian ini, dirancang sistem VLC dengan modulasi varian dari *pulse width modulation* (1-PWM) yakni 2-PWM. Sistem mencakup *transmitter* dan *receiver* dengan DSP berbasis Mikrokontroler STM32F4. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan *bitrate* dan BER antara modulasi 1-PWM dengan 2-PWM yang mana 2-PWM lebih tinggi kecepatan transfer data namun jarak kanal optik lebih pendek daripada sistem VLC dengan modulasi 1-PWM.

Kata kunci: Mikrokontroler STM32F4, Modulasi 2-PWM, Sistem Komunikasi Cahaya Tampak

© 2018 Jurnal SISFO.

Histori Artikel: Disubmit 17-01-2018; Direvisi 03-08-2018; Diterima 24-08-2018; Tersedia online 24-09-2018

*Corresponding Author

Email address: syifaulfuada@pme.itb.ac.id (Syifaul Fuada)

<https://doi.org/10.24089/j.sisfo.2018.09.001>

1. Pendahuluan

Visible light communication (VLC) atau dalam terjemahan bahasa disebut dengan istilah “komunikasi cahaya tampak” merupakan salah satu jenis komunikasi *wireless* optik yang menggunakan panjang gelombang (λ) antara 380 nm sampai 780 nm (spektrum cahaya tampak) sebagai medium modulasi data. Karakteristik spektrum ini adalah medium terlihat oleh mata manusia, sebagaimana yang diekspresikan oleh J.P. Conti: “*What you see, what you send*” [1]. Pengembangan penelitian teknologi VLC menunjukkan *trend* yang cenderung naik dari tahun ke tahun sebagaimana *survey* yang dilakukan oleh M. Figueiredo, dkk [2] dan S. Fuada, dkk [3]. Menurut tinjauan penulis, salah satu aspek yang mendukung akselerasi pada bidang ini adalah semakin berkembangnya teknologi LED yang mana dapat dijangkau dengan harga ekonomis. Kemudian bila ditinjau dari sisi pemakaian, LED memiliki *lifespan* yang lebih lama dan efisiensi energi yang lebih baik dibandingkan dengan penerangan konvensional lain, seperti lampu pijar (*fluorescent*) dan lampu neon (*incandescent*). LED juga mampu dilakukan *switch* dari kondisi “menyala” ke “padam” atau sebaliknya dengan kecepatan tinggi. Kondisi ini dapat dimanfaatkan untuk memodulasi data digital (1 dan 0) melalui LED sebagai *antenna* pemancar.

Satu langkah yang cukup signifikan dari pengembangan teknologi ini adalah ditandai dengan pembentukan *visible light communication consortium* (VLCC) di Jepang pada tahun 2003 dengan maksud agar perusahaan-perusahaan di Jepang dapat menyusun standar teknologi komunikasi, akselerasi R&D serta mempromosikan VLC. Adapun tiga standar yang diajukan kepada *Japan Electronics and Information Technology Industries Association* (JEITA) adalah: CP-1221, CP-1222, dan CP-1223 [4]. CP-1221 memaparkan standar untuk sistem VLC itu sendiri, kemudian CP-1222 mendeskripsikan standar sistem ID berbasis VLC, dan CP-1223 untuk standar sistem suar berbasis VLC [5]. Standar teknologi VLC yang lebih lengkap diajukan dan dipublikasikan oleh organisasi *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), yakni IEEE 802.11.7 pada tahun 2011 [6] yang berisi tentang definisi layer *physical* (PHY) dan *medium access control* (MAC). Draft standar ini mengajukan prosedur penggunaan beberapa teknik modulasi antara lain *On-Off Keying* (OOK), *Variable Pulse-Position Modulation* (VPPM), dan *Color-Shift Keying* (CSK).

Teknik modulasi adalah salah satu bagian penting dalam mewujudkan sistem VLC khususnya pada bagian layer PHY, yang terdiri atas perangkat *digital signal processing* (DSP) dan bagian *analog signal processing* (ASP). Jenis teknik modulasi yang digunakan akan berpengaruh dalam performa dari VLC itu sendiri [7]. Meskipun telah terdapat dua standar VLC yang global -IEEE 802.11.7 & JEITA- namun banyak peneliti dari seluruh dunia yang mengeksplorasi modulasi dan telah menghasilkan varian modulasi tertentu untuk diterapkan pada VLC [8]. Implementasi modulasi digital pada sistem VLC cenderung lebih sederhana dibanding modulasi linier baik itu untuk implementasi bagian ASP maupun DSP karena pada modulasi digital hanya diperlukan dua kondisi LED untuk keperluan komunikasi yaitu “menyala” dan “padam”.

Dalam kaitannya dengan teknik modulasi, OOK merupakan salah satu modulasi yang paling sederhana dalam hal implementasi *hardware* dan integrasinya [9] dan telah banyak dimanfaatkan untuk memodulasi data untuk sistem VLC. Bit ‘1’ disimbolkan dengan satu pulsa dengan lebar baik itu satu periode pulsa penuh atau hanya setengahnya. Sedangkan bit ‘0’ disimbolkan dengan tidak adanya pulsa. Dengan kata lain, pada OOK, satu pulsa hanya membawa satu bit data, yang mana *bandwidth* yang harus disediakan sistem adalah 0,7 dari target *bit-rate* [10] sehingga dapat dinyatakan bahwa modulasi OOK kurang efisien dalam pemanfaatan *bandwidth* yang tersedia. Pada teknik persinyalaan OOK, dalam suatu ketika data *input* terdiri atas beberapa deretan bit ‘0’ sebanyak 1 *byte* maka LED akan dalam keadaan padam dengan waktu yang lebih lama. Dampaknya adalah timbulnya efek *dimming* pada sistem penerangan atau rentan terhadap efek peredupan cahaya.

Terdapat dua jenis modulasi digital yang direkomendasikan selain OOK untuk dapat dipakai pada sistem VLC, yakni *pulse width modulation* (PWM) dan *pulse position modulation* (PPM). Kedua jenis modulasi tersebut dapat mendukung *multi-level* sinyal sehingga mampu membawa lebih banyak bit data untuk setiap

satu pulsa/periode. Pada PPM, sinyal informasi dimodulasi dengan pengaturan posisi pulsa. Sedangkan pada PWM sinyal adalah dengan pengaturan lebar pulsanya [11]. Teknik modulasi PPM memiliki efisiensi daya yang lebih baik daripada OOK namun memerlukan *bandwidth* yang lebih besar dan implementasi yang lebih kompleks [12]. Sementara PWM memerlukan daya puncak yang lebih rendah dibandingkan PPM, kemudian memiliki efisiensi spektrum yang lebih baik, serta lebih tahan terhadap *intersymbol interference* (ISI) [13]. Berdasarkan perbandingan beberapa aspek tersebut, maka PWM ideal untuk sistem VLC yang berkarakteristik *low-complexity* dan *easy implementation*.

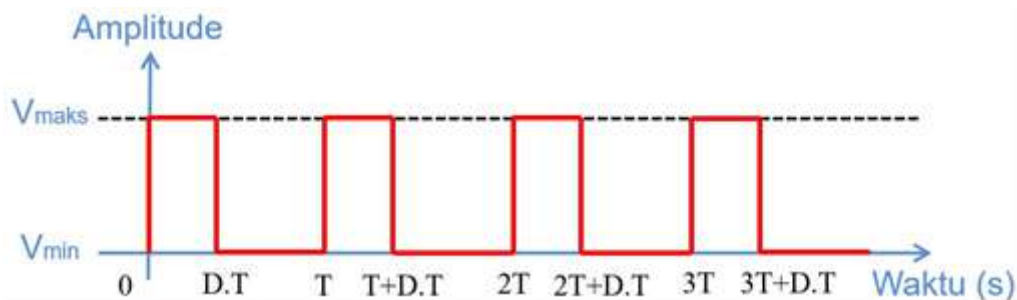
Pada makalah ini, penulis merealisasikan sistem VLC dengan modulasi *multi-level* PWM. Layer fisik yang dibangun mencakup perangkat DSP berbasis *general* Mikrokontroller dan rangkaian ASP. Adapun blok ASP terdiri atas LED driver dan Analog Front-End (AFE) receiver. Rangkaian LED driver didesain untuk mendukung modulasi PWM dan dapat diatur level intensitasnya melalui *variable power supply*. Sementara AFE receiver dirancang untuk dapat mendukung demodulasi PWM.

2. Tinjauan Pustaka

Pada bagian ini dipaparkan mengenai teori yang mendukung dalam perancangan sistem dan kajian penelitian-penelitian yang relevan.

2.1 Modulasi PWM untuk Sistem Komunikasi

PWM melakukan *encoding* sinyal informasi terhadap lebar pulsa/*duty cycle*. *Duty cycle* (D) merupakan perbandingan antara waktu ‘on’ terhadap periode satu pulsa. Prinsip yang digunakan adalah sama halnya dengan modulasi OOK dan PPM, yakni PWM menggunakan pulsa kotak untuk membawa informasi. Ilustrasi sinyal ditunjukkan pada Gambar 1. Adapun durasi simbol antara PWM dengan PPM dirumuskan pada Persamaan (2), sementara Persamaan (1) merupakan perbedaan antara OOK dengan PWM [14].



Gambar 1. Bentuk pulsa PWM

Pada penelitian ini digunakan durasi simbol mengacu pada persamaan (2) namun durasi waktu ‘on’ divariasikan antara T_s dan LT_s . Nilai rata-rata dari gelombang tersebut dapat diformulasikan seperti Persamaan (3), dengan $v(t)$ adalah pulsa digital yang memiliki nilai v_{\max} pada saat $0 < t < D \times T$ dan nilai v_{\min} saat $D \times T < t < T$ sehingga dapat diturunkan menjadi Persamaan (4) –mengacu pada referensi [15]- dan hasil akhir adalah Persamaan (6).

$$T_{\text{OOK}}(\text{Log}_2 L) = T_{\text{PPM}} \quad (1)$$

$$T_{\text{PPM}} = T_{\text{PWM}}, \text{ Untuk } L\text{-ary PWM dengan } M = \text{Log}_2 L \quad (2)$$

$$v = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt \quad (3)$$

$$v = \frac{1}{T} \left(\int_0^{DT} v_{\max} dt + \int_{DT}^T v_{\min} dt \right) \quad (4)$$

$$v = \frac{D \times T \times v_{\max} + T(1-D) v_{\min}}{T} \quad (5)$$

$$v = D \times v_{\max} + (1-D) v_{\min} \quad (6)$$

VLC merupakan suatu sistem komunikasi dengan mekanisme *Intensity Modulation Direct Detection* (IM/DD), maka v dinyatakan sebagai tegangan bias maju LED (v_{LED}), sehingga daya pada LED dapat direpresentasikan pada persamaan (7) dimana i_{LED} adalah arus bias maju dari LED. Maka intensitas (I) dari LED akan sangat dipengaruhi dari daya LED (Persamaan 8).

$$P_{LED} = i_{LED} \times v_{LED} \quad (7)$$

$$I \approx P_{LED} \quad (8)$$

Dengan demikian, semakin kecil nilai v maka intensitas LED akan semakin kecil (semakin redup) dan begitu juga sebaliknya. Persamaan (6) merepresentasikan bahwa nilai v bergantung terhadap nilai D . Apabila PWM digunakan untuk memodulasi data digital 1 bit, maka untuk membedakan data 1 dan 0 adalah dengan membuat variasi dari nilai D dengan catatan nilainya harus cukup lebar sehingga *noise margin* tinggi namun harus cukup sempit sehingga tidak menimbulkan efek *dimming* terhadap fungsi pencahayaan LED.

2.2 Penelitian yang Relevan

Implementasi PWM untuk aplikasi komunikasi optik diantaranya telah dilakukan oleh I.S. Jang, dkk yang mana pada level aplikasi adalah diperuntukkan kepada iklan layanan komersil [16]. Selanjutnya, T. Zhang, dkk mengkombinasikan sinyal *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing* (OFDM) kedalam format modulasi PWM dengan tujuan untuk mengkompensasi problem *peak-to-average-power-ratio* (PAPR) pada OFDM itu sendiri dan ketika dibandingkan dengan ACO-OFDM dalam skenario yang sama, modulasi *hybrid* OFDM-PWM memiliki performa yang lebih baik karena nilai BER lebih kecil [17]. J-H. Choi, dkk mengkombinasikan format modulasi PPM dengan PWM dengan tujuan agar pengaturan *dimming* sekaligus transmisi data dapat dilakukan secara simultan [18].

Sementara pada penelitian ini, peneliti memodifikasi format sinyal PWM untuk peningkatan transfer data yakni modulasi 2-PWM. Diharapkan paling tidak diperoleh *data-rate* sebesar dua kali lipat dari modulasi 1-PWM sekaligus dengan nilai BER yang kecil.

3. Metodologi

Pada bagian ini dideskripsikan metode perancangan sistem yang dimulai dari penentuan spesifikasi, pemilihan komponen, implementasi PWM pada DSP, yakni menggunakan *board* mikrokontroler STM32F4 *discovery* (lengkap dengan penyajian *source code* untuk fungsi *encode* dan *decode*), desain bagian ASP yang mencakup LED *driver* beserta catu daya dan AFE *receiver*. Adapun flowchart dapat dilihat pada Gambar 2.

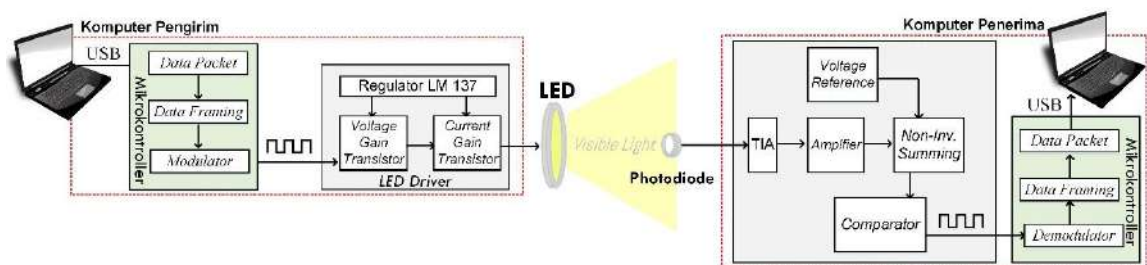


Gambar 2. Flowchart metode penelitian

3.1 Spesifikasi Sistem

Sistem VLC yang dirancang mengacu pada blok diagram yang ditunjukkan pada Gambar 3 yang terdiri atas dua bagian, yakni *transmitter* dan *receiver*. Topologi komunikasi yang dipergunakan adalah *point-to-point*, sementara konfigurasi *link* disusun dengan *directed LOS* dimana modul *transmitter* dan modul *receiver* dihadapkan langsung pada jarak tertentu. Sistem VLC dirancang untuk mentransmisikan data dari modul *transmitter* ke *receiver* menggunakan medium cahaya tampak. Data yang ditransmisikan berupa teks dalam format ASCII.

Prinsip kerjanya adalah mula-mula data yang berupa teks dikirimkan oleh komputer *transmitter*, aliran data tersebut dipaketkan terlebih dahulu yang mana masing-masing paket data ini selanjutnya diberi *framing* sesuai dengan jenis modulasi yang akan digunakan (dalam hal ini adalah 2-PWM) pada Mikrokontroler. Kemudian sinyal *output* dari Mikrokontroler diumpankan ke rangkaian LED *driver*. Rangkaian tersebut berfungsi untuk mengontrol intensitas cahaya dari LED sesuai dengan sinyal *output* dari Mikrokontroler. LED akan menyala (sebagai media penerangan) sekaligus mempropagasikan sinyal termodulasi ini ke ruang bebas (sebagai media komunikasi). Pada penelitian ini, PIN *photodiode* digunakan sebagai *photodetector*. Dengan menggunakan metode *Direct Detection*, intensitas cahaya yang dipancarkan oleh LED tersebut akan diterima oleh *photodiode* dan dikonversikan menjadi arus listrik (*photocurrent* atau *ipD*) yang linier terhadap intensitas cahaya. Semakin tinggi intensitas cahaya, maka *ipD* yang dihasilkan oleh *photodiode* akan semakin besar dan begitu pula sebaliknya [19]. Rangkaian *Trans-impedance Amplifier* (TIA) digunakan sebagai *I-V converter*, yakni mengubah *ipD* menjadi tegangan [20].



Gambar 3. Diagram blok dari prototip VLC

Sinyal yang diterima oleh *photodiode* sangat rentan terhadap *ambient light noise* (cahaya berasal dari sumber DC, yakni lampu senter dan berkas cahaya matahari atau *background light* pada lingkungan dalam ruang) dan *interference lamp noise* (cahaya yang berasal dari lampu neon dan lampu pijar) yang mungkin terjadi selama sinyal merambat di ruang bebas [21-26]. Rangkaian ASP diperlukan dan dihubungkan pada *output* blok *I-V converter*. ASP berfungsi untuk mengkondisikan sinyal terdistorsi tersebut sehingga data *output* dari blok *receiver* VLC dapat diolah dengan benar oleh demodulator pada Mikrokontroler. Dengan kata lain, data yang diterima dapat dikembalikan sesuai dengan data aslinya (data yang dikirim). Untuk *userface*,

sistem VLC yang didesain terhubung dari komputer *transmitter* ke komputer *receiver* melalui UART, sementara GUI dibuat dengan bantuan perangkat lunak Delphi 7.0.

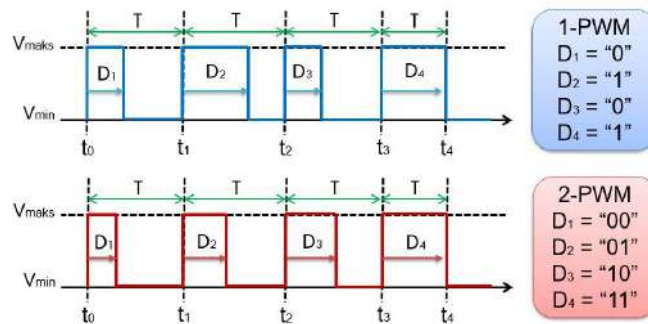
3.2 Pemilihan Komponen

Sistem VLC yang dibangun pada penelitian ini terdiri atas beberapa blok seperti yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya, yakni mencakup DSP dan ASP (transistor, LED, *photodiode*, dan Op-Amp). Pada penelitian ini, aplikasi VLC adalah untuk transfer data-data berukuran kecil (misalnya gambar, music dan teks), sehingga komponen-komponen yang bersifat *low-cost* digunakan.

- 1) **DSP:** Mikrokontroller yang dipilih dalam penelitian ini adalah STM32F4 *Discovery* (ARM Cortex M4 dan frekuensi *clock* maksimum sebesar 168 MHz. DSP ini sangat memadai untuk dipergunakan dalam *sampling* ADC dari data-data yang relatif kecil.
- 2) Transistor: Digunakan tipe BJT 2N2222 dan MOSFET IRFZ44N.
- 3) **LED:** modul LED Coochip model LEDMD-W110C. LED menyala dengan warna putih sehingga cocok dengan penerangan rumah. Daya maksimum (P_{max}) = 9 Watt, sudut pancaran = 178o, dan Intensitas cahaya = 550 lumen yang mana sesuai dengan standar iluminansi aplikasi dalam ruang.
- 4) **Photodiode:** PIN *Photodiode* KODENSHI SP-8ML, luas penampang efektif (A_r) = 7,4 mm², cakupan λ = 450 nm – 1050 nm yang mana mengkaver λ cahaya tampak dan inframerah dengan *peak* pada 900 nm, *photocurrent* = 270 x 10⁻⁶ Ampere pada saat kondisi seribu lux.
- 5) **Op-Amp:** Keseluruhan Op-Amp pada AFE *receiver* adalah model LM358 (*general purpose* Op-Amp), GBWP = 1 MHz saat G = 1. Sementara untuk rangkaian TIA digunakan model AD8011AN (*specific purpose* Op-Amp), GBWP = 300 MHz saat G = 1, dan *Rise/fall time* = ~0,4 ns.

3.3 Implementasi PWM di Mikrokontroller

Ilustrasi dari modulasi 1- PWM dan 2-PWM ditunjukkan pada Gambar 4, diperlihatkan bahwa setiap pulsa dalam satu periode mampu membawa masing-masing 1 dan 2-bit data. Untuk 1-bit PWM, terdapat dua kemungkinan lebar pulsa (D) yaitu D_1 atau D_2 . Sedangkan untuk 2-bit PWM, ini berarti terdapat $2^2 = 4$ kombinasi D . Keempat kombinasi D ditunjukkan dengan variabel D_1 , D_2 , D_3 , dan D_4 . Sementara pemetaan bit terhadap D ditampilkan pada kotak di samping kanan grafik.



Gambar 4. Bentuk sinyal termulasi menggunakan antara 1-PWM dengan 2-PWM dan representasi bit

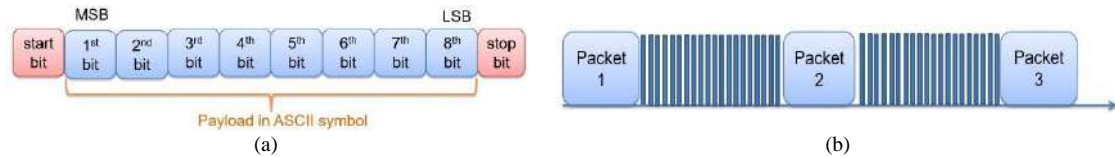
Kecepatan transfer data dengan modulasi 2-PWM ini ditargetkan paling tidak mampu mencapai 20.000 bps atau 20 kbps yang dipergunakan untuk transfer teks, maka periode pulsa digital (T) dengan menggunakan 2 bit termulasi haruslah diatur mengacu pada Persamaan (9).

$$T = \frac{\text{Jumlah bit termulasi}}{\text{Banyaknyabit per detik}} \quad (9)$$

Maka,

$$T = \frac{2 \text{ bit}}{20000 \text{ bit/s}} = 100 \mu\text{s}$$

Ketika periode pulsa digital menggunakan acuan $T = 100 \mu\text{s}$, maka sistem VLC dengan 2-bit PWM memiliki kecepatan transfer hingga 20 kbps. Perhitungan ini adalah ideal (dari DSP ke DSP, atau tanpa ASP) yang mana hasil yang didapatkan bergantung pada level intensitas LED, jarak, dan sudut penerimaan.



Gambar 5. (a) Protokol format data yang digunakan pada modulasi 2-PWM, setiap paket terdiri atas awalan dan akhiran bit dengan *payload* dalam simbol ASCII; (b) Format per paket data agar menjaga stabilitas level iluminansi LED sehingga mencegah terjadinya efek *blinking* atau *flickering*, dengan demikian mata manusia tetap aman dan nyaman terhadap pencahayaan LED

Sementara untuk proses sinkronisasi antara *transmitter* dan *receiver*, maka digunakan suatu *start* bit sebagai *header* dan *stop* bit untuk mengakhiri komunikasi seperti diilustrasikan pada Gambar 5(a). Data dikirim dari *transmitter* ke *receiver* dalam bentuk paket-paket. Setiap paket berisikan 8-bit data karakter ASCII dengan urutan MSB di awal dan LSB di akhir. *Start* bit digunakan sebagai penanda awal dari kedatangan paket data, sementara *stop* bit digunakan sebagai penanda akhir paket data. Format antar paket data. Untuk menghindari efek *blinking* pada LED yang dapat mengganggu fungsi penerangan, maka D selama T antar paket, tidak dibuat tetap (*fixed*) melainkan dilakukan *switching* pada kecepatan di atas batas yang dapat ditangkap oleh mata manusia (Gambar 5(b)). Sehingga level iluminasi sumber penerangan yang digunakan cenderung konstan dan tidak mengganggu mata manusia.

Source code yang terdapat pada Tabel 1 merupakan *listing* lengkap tentang *encoding function*, transmisi PWM, dan *decoding function* menggunakan modulasi 2-PWM pada Mikrokontroler STM32F4 (Tabel 2). *Encoding* berfungsi untuk menyandikan sinyal *input*/data asal kedalam format modulasi 2-PWM. Sementara *Decoding* berfungsi untuk mengkonversi/menguraikan data yang ter-*encoding* ke bentuk sinyal asal.

Tabel 1. Fungsi *encoding* 2-PWM dan transmisi PWM

```
unsigned int fungsi_2PWM(char data_PWM) {
    if (data_PWM == 0) {
        return PWM00;
    }
    else if (data_PWM == 1) {
        return PWM01;
    }
    else if (data_PWM == 2) {
        return PWM10;
    }
    else if (data_PWM == 3) {
        return PWM11;
    }
};

void modulasi_2PWM(char data_PWM[2]) {
    char data_buffer[19];
    char data_tuple[9];
    //unsigned int PWM2_termodulasi[9];
    unsigned char indeks;
    unsigned int space, header, stop;
    //space = 1000; header = 2000; stop=2500;
```

```

if (PWM_speed == 3) {
    space = 800; header = 2000, stop=2500;           //speed 3}
else if (PWM_speed == 2) {
    space = 250; header = 780, stop=1000;           //speed 2}
else if (PWM_speed == 1) {
    space = 110; header = 250, stop=470;           //speed 1};

for(indeks=0;indeks<2;indeks++) {
    data_buffer[indeks*8+1] = data_PWM[indeks] & 0x01;
    data_buffer[indeks*8+2] = (data_PWM[indeks] >>1) & 0x01;
    data_buffer[indeks*8+3] = (data_PWM[indeks] >>2) & 0x01;
    data_buffer[indeks*8+4] = (data_PWM[indeks] >>3) & 0x01;
    data_buffer[indeks*8+5] = (data_PWM[indeks] >>4) & 0x01;
    data_buffer[indeks*8+6] = (data_PWM[indeks] >>5) & 0x01;
    data_buffer[indeks*8+7] = (data_PWM[indeks] >>6) & 0x01;
    data_buffer[indeks*8+8] = (data_PWM[indeks] >>7) & 0x01;
};

for(indeks=1;indeks<9;indeks++) {
    data_tuple[indeks] = data_buffer[2*indeks]*2 + data_buffer[2*indeks-1];
};

for(indeks=1;indeks<9;indeks++) {
    PWM2_termodulasi[indeks] = fungsi_2PWM(data_tuple[indeks]);
};

//----transmisi data PWM-----
GPIO_WriteBit(GPIOA,GPIO_Pin_4,0); Delay(space); //SPACE
GPIO_WriteBit(GPIOA,GPIO_Pin_4,1); Delay(header); //PWM HEADER
GPIO_WriteBit(GPIOA,GPIO_Pin_4,0); Delay(space); //SPACE

for(indeks=1;indeks<9;indeks++) {
    GPIO_WriteBit(GPIOA,GPIO_Pin_4,1); Delay(PWM2_termodulasi[indeks]);
    GPIO_WriteBit(GPIOA,GPIO_Pin_4,0); Delay(space);
};
GPIO_WriteBit(GPIOA,GPIO_Pin_4,0); Delay(space);
GPIO_WriteBit(GPIOA,GPIO_Pin_4,1); Delay(stop);
GPIO_WriteBit(GPIOA,GPIO_Pin_4,0); Delay(space);
GPIO_WriteBit(GPIOA,GPIO_Pin_4,1);

```

Tabel 2. Fungsi decoding 2-PWM

```

//-----decoder 2 PWM-----//
unsigned char fungsi_decoder_2PWM(uint16_t pulse) {
    uint16_t bit00_atas, bit00_bawah,bit01_atas,bit01_bawah;
    uint16_t bit10_atas, bit10_bawah,bit11_atas,bit11_bawah;
    bit00_bawah = 630; bit00_atas = 750;
    bit01_bawah = 460; bit01_atas = 565;
    bit10_bawah = 290; bit10_atas = 430;
    bit11_bawah = 100; bit11_atas = 220;

    if ((pulse >= bit00_bawah) && (pulse <= bit00_atas)) {
        return 0;
    };
    if ((pulse >= bit01_bawah) && (pulse <= bit01_atas)) {
        return 1;
    };
    if ((pulse >= bit10_bawah) && (pulse <= bit10_atas)) {
        return 2;
    };
    if ((pulse >= bit11_bawah) && (pulse <= bit11_atas)) {
        return 3;
    };
}

```

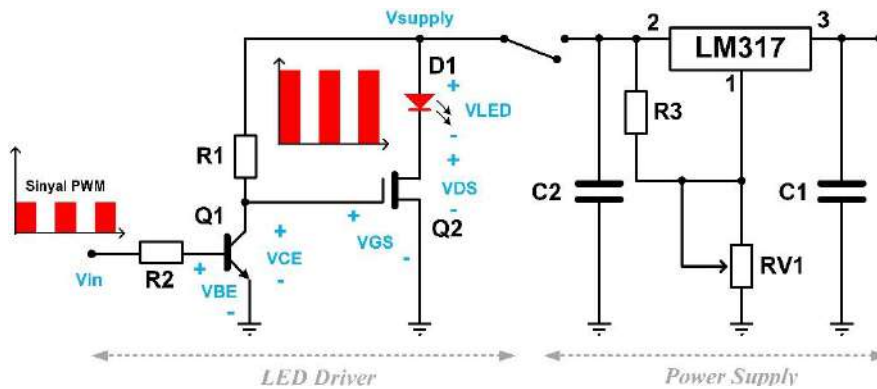
```

void decoder_2PWM(uint16_t data_mentah[40]) {
    //unsigned char buffer[9];
    unsigned char buffer_2PWM[9];
    unsigned char indeks;
    for(indeks=1;indeks<9;indeks++) {
        buffer_2PWM[indeks] = fungsi_decoder_2PWM(data_mentah[indeks]);
    };
    data_2PWM[0] = buffer_2PWM[1] + buffer_2PWM[2]*4 + buffer_2PWM[3]*16 +
    buffer_2PWM[4]*64;
    data_2PWM[1] = buffer_2PWM[5] + buffer_2PWM[6]*4 + buffer_2PWM[7]*16 +
    buffer_2PWM[8]*64;
}

```

3.4 Desain Analog Front-End Transceiver

Modulasi 2-PWM merupakan jenis modulasi digital, sehingga diperlukan dua kondisi LED yaitu menyala dan padam untuk merepresentasikan data biner antara ‘0’ atau ‘1’ [27]. Rangkaian LED *driver* untuk modulasi 2-PWM ditunjukkan pada Gambar 6. Rangkaian ini terdiri dari dua transistor, yakni Transistor Q1 untuk menguatkan tegangan *output* dari Mikrokontroler STM32F4. Sementara transistor Q2 digunakan untuk menguatkan arus. Rangkaian LED *driver* dirancang sedemikian rupa sehingga memiliki prinsip kerja yang ditunjukkan pada Tabel 3.



Gambar 6. Desain LED *driver* topologi *switch* untuk modulasi digital 2-PWM, dengan $V_{supply} = 10\text{ V}_{DC}$, $R_1 = 10\text{ k}\Omega$ dan $R_2 = <80\text{ k}\Omega$

Tabel 3. Prinsip kerja LED *driver* untuk modulasi digital

Representasi sinyal digital termodulasi	Kondisi LED
‘0’	Menyala
‘1’	Padam

Agar LED dapat dioperasikan ke dalam pada kondisi “menyala” dan “padam” untuk modulasi digital, maka transistor Q2 (MOSFET IRFZ44N) harus dioperasikan ke dalam mode saturasi dan *cut-off*. Saat Q2 mengalami saturasi, LED akan menyala dan sebaliknya saat Q2 mengalami *cut-off* maka LED akan padam. Saat Q2 saturasi, maka tegangan LED dapat dikalkulasikan menggunakan persamaan (10) dan pada saat saturasi ($V_{DS} \approx 0\text{ V}_{DC}$) maka tegangan LED merepresentasikan persamaan (11).

$$V_{LED} = V_{Supply} - V_{DS} \quad (10)$$

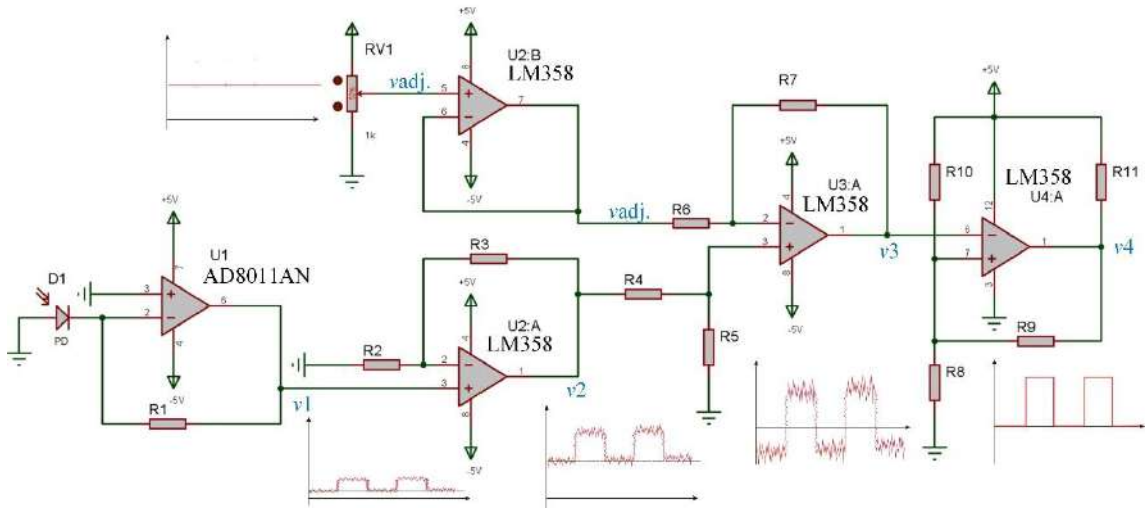
$$V_{LED} = V_{Supply} \quad (11)$$

Agar Q2 mengalami *cutoff*, maka Q1 harus mengalami saturasi sehingga tegangan $V_{GS} < 2V_{DC}$. Berdasarkan *datasheet*, tegangan $V_{CE(sat)}$ sebesar $0,3 V_{DC}$ maka tegangan output pada *power supply* akan sama dengan persamaan (12).

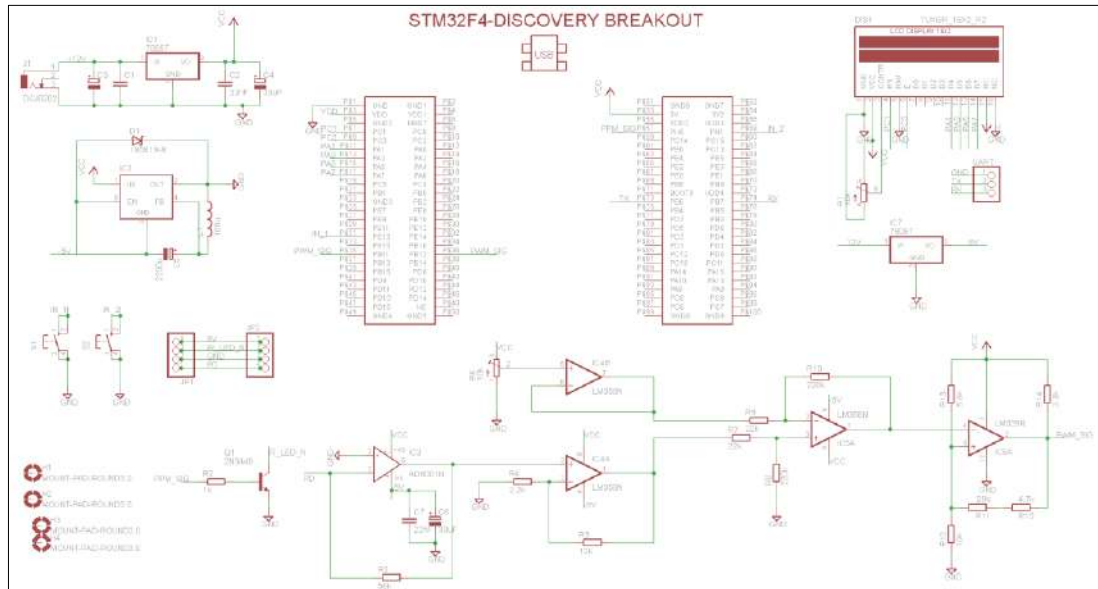
(12)

$$i_B = \frac{i_C}{\beta} = \frac{0,97\text{mA}}{30} = 32,3\mu\text{A} \quad (13)$$
[illegible]

Gambar 7. Skematik rangkaian *transmitter* (termasuk *switch LED driver*, *variable power supply*, dan minimum sistem STM32F4)



Gambar 8. Rangkaian AFE receiver

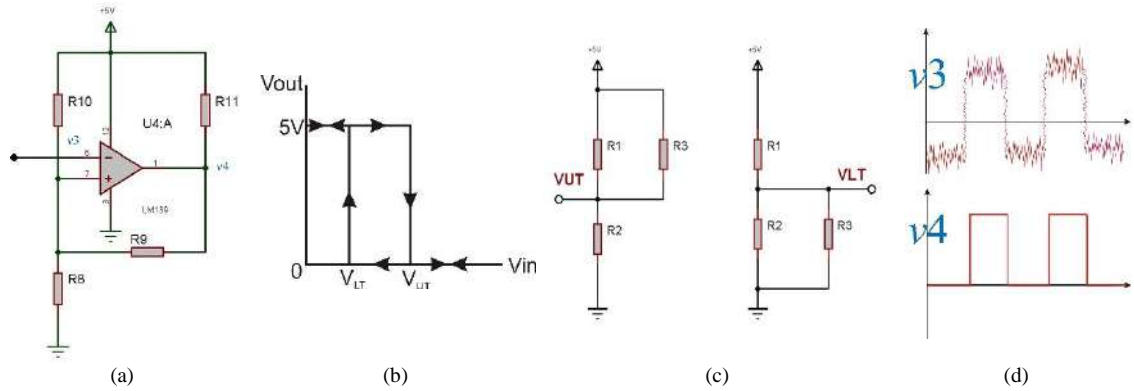


Gambar 9. Skematik rangkaian receiver (termasuk AFE receiver, modul single-to-dual power supply converter, LCD display, dan minimum sistem STM32F4)

Gambar 8 merupakan rangkaian AFE receiver yang disusun oleh beberapa blok konfigurasi Op-Amp yang masing-masing memiliki fungsi spesifik. Rangkaian TIA/ I-V converter dengan *photovoltaic mode* berfungsi mengubah arus menjadi tegangan. *Pre-amplifier* adalah penguat tegangan tahap pertama karena *amplitude* sinyal keluaran dari TIA masih terlalu kecil. *DC-offset Adjuster* yang terdiri atas *Buffer Op-Amp* untuk *voltage reference* dan *non-inverting summing amplifier* adalah rangkaian penghilang tegangan *DC-offset* yang dapat disetel secara manual sesuai dengan kondisi pencahayaan dalam ruangan tersebut. Tahap terakhir adalah blok *hysteresis comparator* sehingga *output* sinyal dari AFE receiver sesuai dengan tegangan kerja level digital atau agar level *amplitude* berada dalam rentang kerja dari ADC DSP. Keluaran dari blok ini dihubungkan ke blok DSP, yakni Mikrokontroler STM32F4. Detail perhitungan blok TIA sampai *DC-offset adjuster* dijabarkan pada penelitian lainnya [28]. Skematik lengkap modul receiver ditampilkan pada

Gambar 9 yang mencakup rangkaian AFE receiver, Split power supply converter, penampil LCD, dan MinSys mikrokontroller STM32F4.

Penjabaran pada makalah ini berfokus pada bagian komparator dengan histerisis yang ditampilkan pada Gambar 10(a) dan rangkaian ekuivalennya (Gambar 10(c)).



Gambar 10. (a) Rangkaian komparator dengan *hysteresis*; (b) ilustrasi *hysteresis*; (c) rangkaian ekuivalensi dari komparator *hysteresis* untuk menentukan V_{LT} dan V_{UT} ; (d) hubungan antara tegangan *input* dan *output* dari komparator

Gambar 10(b) mengilustrasikan bahwa kondisi *output* komparator baru berubah pada saat tegangan *input* melewati level tertentu yaitu *voltage lower threshold* atau V_{LT} dan *voltage upper threshold* atau V_{UT} . Histerisis yang dibentuk oleh dua level *threshold* ini membantu komparator untuk menghindari osilasi akibat *noise* atau umpan balik parasitik. Untuk mendapatkan level tegangan TTL (Gambar 10(d)), perlu diatur batas tegangan $V_{UT} = 3,4 V_{DC}$ dan $V_{LT} = 2,8 V_{DC}$. Sehingga nilai-nilai resistansi R_8 , R_9 , dan R_{10} dapat diselesaikan dengan persamaan (15) dan persamaan (16) dengan R_8 dipilih 10 k Ω .

$$V_{UT} = \frac{R_8}{R_8 + (R_{10} \parallel R_9)} \times 5V, \text{ sehingga} \quad 3,4V = \frac{10}{10 + \left(\frac{R_{10} \times R_9}{R_{10} + R_9}\right)} \times 5V$$

$$R_{10} \times R_9 = R_{10} \times 4,706 + R_9 \times 4,706 \quad (14)$$

$$V_{LT} = \frac{(R_8 \parallel R_9)}{R_8 + (R_8 \parallel R_9)} \times 5V, \text{ sehingga} \quad 2,8V = \frac{\left(\frac{10 \times R_9}{10 + R_9}\right)}{R_{10} + \left(\frac{10 \times R_9}{10 + R_9}\right)} \times 5V$$

$$R_{10} \times R_9 = R_{10} \times -10 + R_9 \times 7,86 \quad (15)$$

Selanjutnya, dilakukan substitusi persamaan (14) dengan persamaan (15),

$$R_{10} \times 4,706 + R_9 \times 4,706 = R_{10} \times -10 + R_9 \times 7,86 \quad (16)$$

$$R_9 = 4,66 \times R_{10} \quad (17)$$

Substitusi persamaan (16) ke persamaan (14),

$$R_{10} \times (4,66 \times R_{10}) = R_{10} \times 4,706 + (4,66 \times R_{10}) \times 4,706, \text{ sehingga } R_{10} = 5,7 \text{ k}\Omega$$

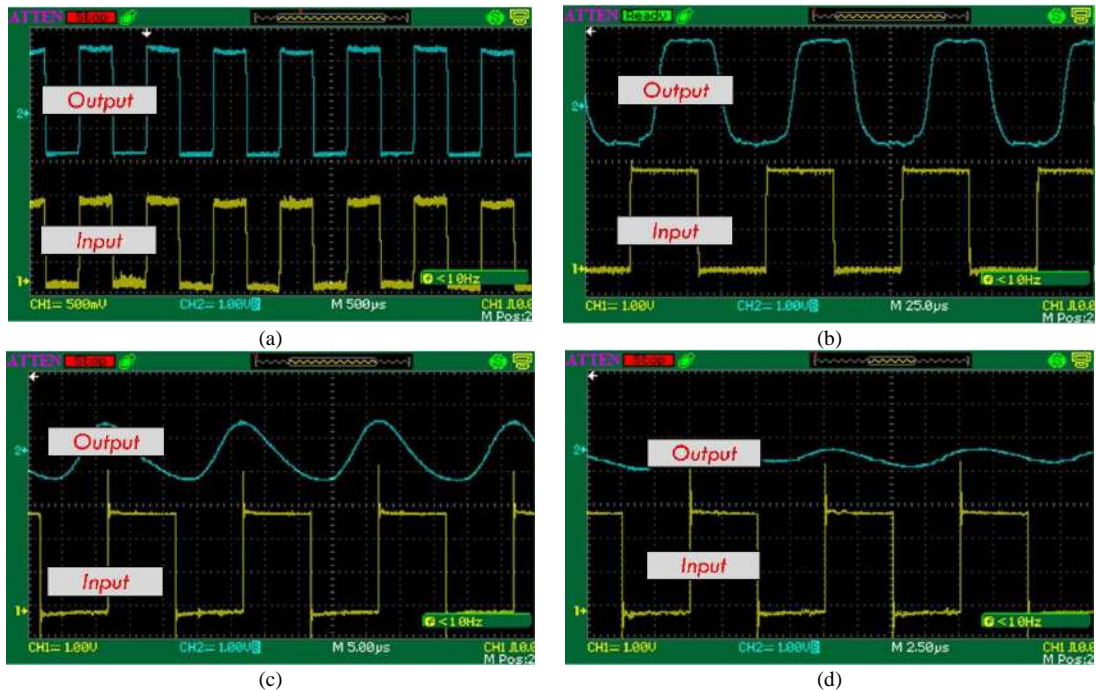
Substitusi nilai $R_{10} = 5,7 \text{ k}\Omega$ ke persamaan (17), maka akan didapatkan nilai R_9

$$R_9 = 4,66 \times 5,7 \text{ k}\Omega = 26,5 \text{ k}\Omega$$

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Verifikasi Rangkaian AFE Transceiver

Pengujian performa AFE *transceiver* dilakukan dengan memberikan sinyal *input* kotak (*square*) yang dibangkitkan oleh *signal generator* (GW-INSTTEK GFG-8219A), dengan pengujian ini maka frekuensi maksimum yang bisa dimanfaatkan untuk modulasi PWM dapat diketahui. Hasil tangkapan *digital oscilloscope* ditunjukkan pada Gambar 11 dan dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi frekuensi pulsa digital maka *magnitude* pulsa yang diterima oleh *receiver* semakin mengecil. Bahkan untuk frekuensi *input* di atas 10 kHz saja, sinyal diterima mengalami distorsi. Maka dari itu, frekuensi sinyal PWM maksimum yang dapat digunakan adalah 10 – 20 kHz.

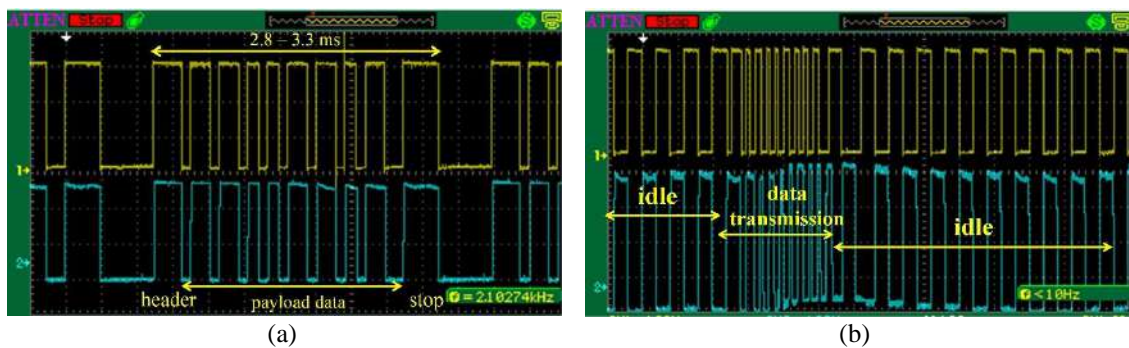


Gambar 11. Hasil pengukuran sinyal *transmitter* dan *receiver* pada frekuensi yang bervariasi: (a) 1 kHz, (b) 10 kHz, (c) 50 kHz, (d) 100 kHz, pada *digital oscilloscope* ATEN ADS 1022CL+

4.2 Verifikasi PWM

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui fungsionalitas dari rangkaian *transmitter* dan *receiver* pada fungsi modulasi digital. Skenario pengujian ini dilaksanakan dengan mentransfer data paket menggunakan modulasi PWM. Gambar 12(a) menunjukkan bentuk gelombang PWM selama proses transfer data berlangsung. Sinyal berwarna kuning (bagian atas) adalah sinyal pada *transmitter*, sementara sinyal berwarna biru (bagian bawah) menunjukkan sinyal pada *receiver*.

Berdasarkan hasil pengamatan dengan alat bantu *digital oscilloscope*, dapat diketahui bahwa durasi periode dari satu paket (8 bit data) memiliki selang waktu sebesar 2,8 – 3,3 ms. Untuk menghindari efek *blinking* pada sistem pencahayaan, maka waktu *idle* diantara pengiriman paket disisipkan pulsa digital PWM dengan D sebesar 50% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12(b). Dengan demikian dapat diperoleh pencahayaan dari LED yang lebih stabil.



Gambar 12. Verifikasi modulasi PWM untuk VLC, *transmitter* (warna kuning) dan *receiver* (warna biru): (a) Paket data sinyal PWM; (b) Kondisi *idle* yang berada diantara paket data (Untuk interpretasi warna pada gambar ini, bagi pembaca disarankan untuk melihat versi web dari artikel ini)

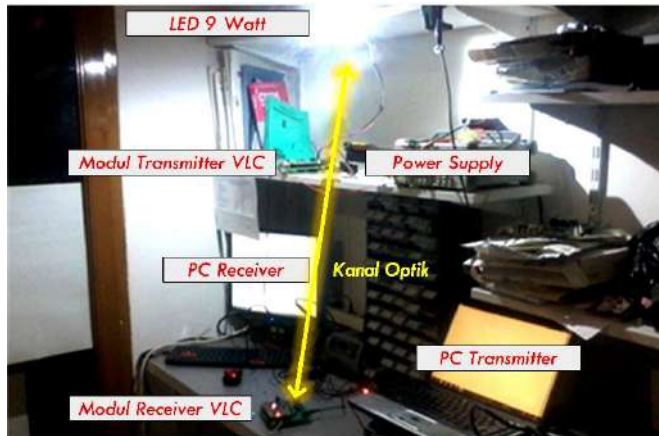
4.3 Pengujian BER

Skenario pengujian sistem VLC ditunjukkan pada Gambar 13. *Streaming* data dikirim dari PC *transmitter* ke PC *receiver* menggunakan medium cahaya tampak. Data yang dikirim dibandingkan dengan data yang diterima untuk kemudian diukur nilai BER. Skenario uji pertama adalah pengukuran BER terhadap variasi jarak antara modul *transmitter* terhadap *receiver* dalam beberapa jarak yang berbeda yaitu kisaran 30 cm hingga 150 cm dengan sudut dibuat tetap yaitu 0° dalam konfigurasi *line-of-sight* (LOS) link. Data yang dikirim dalam bentuk teks sebanyak 10 kb ditransfer dengan modulasi 1-PWM dan 2-PWM. Untuk komparasi hasil pengujian, terdapat dua opsi pengaturan Gain.

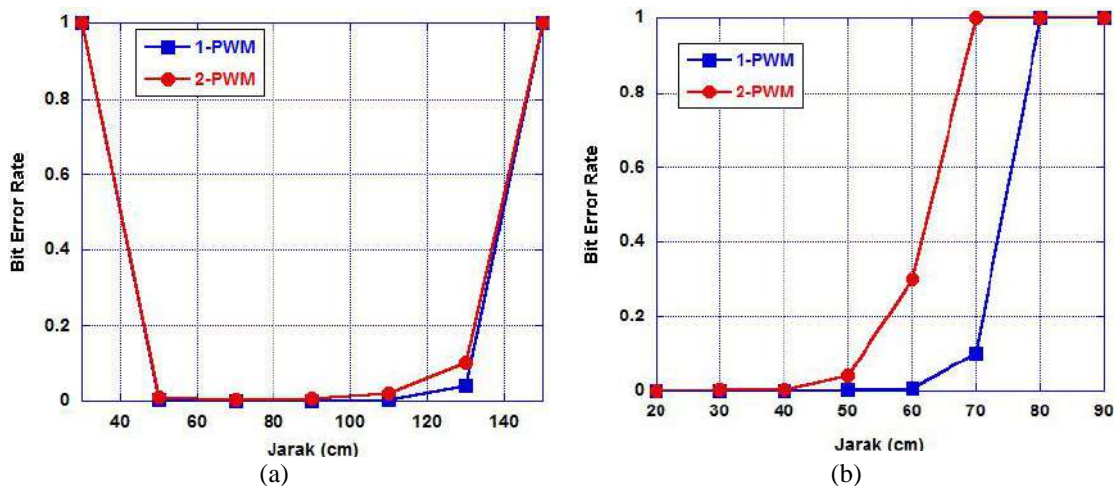
Gambar 14(a) merupakan BER terhadap variasi jarak dengan pengaturan Gain A, dalam grafik dapat diketahui ketika jarak kanal optik sangat dekat yakni <50 cm, nilai BER sangat tinggi karena sinyal mengalami saturasi akibat intensitas cahaya yang diterima oleh *photodiode* terlalu kuat. Sebaliknya untuk jarak yang terlalu jauh yakni >110 cm, nilai BER juga tinggi karena intensitas cahaya yang diterima oleh *photodiode* terlalu lemah. Dengan pengaturan Gain A, sistem VLC yang dirancang efektif dalam jarak antara 50 hingga 110 cm. Selanjutnya dilakukan pengaturan Gain yang lebih rendah (sebesar satu kali penguatan) sehingga sinyal yang diterima oleh *receiver* pada jarak <50 cm tidak mengalami saturasi. Hasil pengukuran disajikan pada Gambar 14(b). Dengan mengurangi Gain pada penguat tahap 1, maka komunikasi pada jarak kurang dari 30 cm tetap dapat dilakukan dengan baik namun rentang jarak efektif mobilitas VLC ini menjadi lebih pendek yakni 20 – 50 cm.

Adapun modulasi 1-PWM yang dijadikan tolok ukur komparasi dalam penelitian ini mengacu pada T. Adiono, dkk [29] yang merupakan penelitian terdahulu/ pernah dilakukan dengan skenario yang sama.

Modulasi 1-PWM memiliki performa yang lebih baik dibandingkan modulasi 2-PWM, hal ini dibuktikan nilai BER yang lebih rendah dan juga lebih tahan terhadap *noise* karena VLC *receiver* lebih mudah mengembalikan bit data yang asli.



Gambar 13. Foto pengujian sistem VLC melibatkan dua PC, power supply, dan modul VLC transceiver

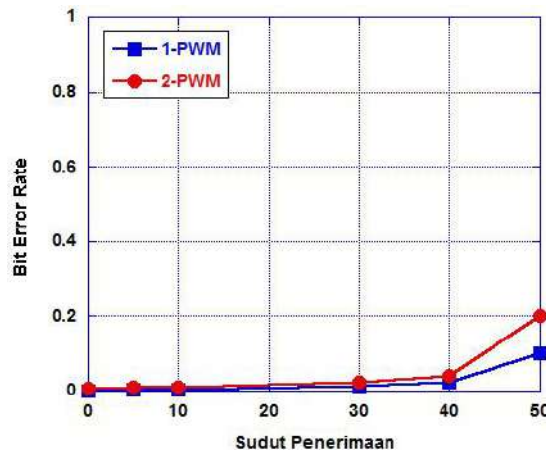


Gambar 14. Grafik BER vs jarak LED terhadap *photodiode* untuk membandingkan performa sistem VLC dengan modulasi 2-PWM dan 1-PWM pada pengaturan yang berbeda: (a) *setting* Gain A; (b) *setting* Gain B

Parameter pengujian selanjutnya adalah pengukuran BER terhadap sudut penerimaan dari *photodiode*. Pada skenario ini, jarak kanal optik dibuat tetap yaitu 60 cm, namun sudut penerimaan dijadikan variabel. Sudut penerimaan *photodiode* terhadap LED diatur dalam rentang antara 0° hingga 50° . Berdasarkan Gambar 15 dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin lebar sudut penerimaan, maka nilai BER semakin tinggi. Dengan modulasi 2-PWM maka sudut penerimaan efektif yang dapat dijadikan acuan untuk sistem VLC adalah 0° hingga 30° . Nilai BER dari modulasi 2-PWM sedikit lebih tinggi dibandingkan modulasi 1-PWM dalam pengujian ini.

Pada riset sebelumnya, penulis telah mendemonstrasikan sistem VLC untuk transmisi teks dengan modulasi 1-PWM, namun hanya didapatkan kecepatan transfer sebesar 3300 bps [30]. Sehingga salah satu motivasi penelitian ini adalah untuk meningkatkan *data-rate* dengan modulasi *multi-level* agar pulsa untuk tiap satu periode mampu membawa bit lebih banyak yaitu 2-PWM. Pada Tabel 3 dapat diketahui bahwa modulasi 2-

PWM lebih cepat daripada modulasi digital (PWM) yakni kurang lebih dua kali lipat. Semakin tinggi kepadatan modulasi yang digunakan, maka semakin tinggi kecepatan transfer datanya.



Gambar 15. Grafik BER vs sudut penerimaan dengan modulasi 2-PWM dan 1-PWM

Ketika mengacu pada perhitungan dasar teori (Subbab 3.3), idealnya didapatkan 20 kbps namun pada praktiknya hanya didapatkan 6,2 kbps. Penurunan *bit rate* ini disebabkan beberapa faktor termasuk diantaranya adalah pengaruh lingkungan *ambient light*. Meskipun demikian, transmisi data-data berukuran kecil seperti teks telah cukup memadai. Hasil dari penelitian ini juga merupakan peningkatan dari performa penelitian sebelumnya [31-32].

Tabel 3. Perbandingan kecepatan transfer data dengan penelitian sebelumnya

Referensi penelitian	Jenis modulasi	Kecepatan transfer data
A. Pradana, dkk [31]	1-PPM	1 kbps
	2-PPM	2 kbps
A. Pradana, dkk [32]	1-PWM	920 bps
	2-PWM	1,5 kbps
	3-PWM	1,5 kbps
T. Adiono, dkk [29], [30]	1-PWM	3,3 kbps
Penelitian ini	2-PWM	6,2 kbps

5. Kesimpulan

5.1 Simpulan

Sistem komunikasi cahaya tampak berbasis modulasi 2-PWM telah dibahas pada makalah ini. Modulasi ini merupakan modifikasi/variasi dari PWM. Pada dasarnya, PWM memodulasi sinyal informasi terhadap nilai D dan dapat mendukung *multi-level modulation*. Dalam sistem telekomunikasi (termasuk komunikasi cahaya tampak), nilai D pada PWM digunakan untuk membawa data melewati kanal komunikasi. Metode

penelitian adalah sebagai berikut: 1) menentukan spesifikasi; 2) memilih komponen-komponen yang mencakup analog dan DSP; 3) mengimplementasikan modulasi PWM *board* mikrokontroller STM32F4 *discovery*; 3) mendesain AFE transceiver (LED driver, catu daya, dan AFE *receiver*); 4) evaluasi DSP dan AFE transceiver; dan 5) integrasi keduanya untuk keperluan pengukuran BER. Hasil menunjukkan bahwa 2-PWM lebih cepat dalam transfer data daripada 1-PWM namun jarak kanal optik dari sistem VLC menjadi lebih pendek dan rendah mobilisasi karena sudut penerimaan lebih sempit.

5.2 Saran

Beberapa hal perlu dilaksanakan untuk *upgrading* performa sistem VLC, kecepatan transfer data *downlink* dapat ditingkatkan dengan ketepatan pemilihan komponen elektronika untuk *hardware* terutama LED, Op-Amp berkarakteristik *high-speed* dan *photodiode*. Selanjutnya juga diperlukan penambahan modul *uplink* dengan menggunakan *infrared* sehingga sistem VLC dapat digunakan secara dua arah (*bidirectional communication*).

6. Ucapan Terima Kasih

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).

7. Daftar Rujukan

- [1] Conti, J.P. What you see is what you send. *Engineering & Technology*, 3(19), 66-68, 2008. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/document/4783247/>
- [2] Figueiredo, M., Alves, L.N., & Ribeiro, C. Lighting the wireless world: the promise and challenges of visible light communication. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 6(4), 28-37, 2017. doi: [10.1109/MCE.2017.2714721](https://doi.org/10.1109/MCE.2017.2714721)
- [3] Fuada, S., & Adiono, T. Visible Light Communication Kits for Educations. *Journal of Education and Training*, 5(2), 39-49, 2018. doi: [10.5296/jet.v5i2.12578](https://doi.org/10.5296/jet.v5i2.12578)
- [4] JEITA visible light communication standards. Retrieved January 9, 2016, from http://www.jeita.or.jp/cgi-bin/standard_e/list.cgi?cateid=1&subcateid=50.
- [5] Pohlmann, C. Visible light communication. *Seminar Kommunikationstandards in der Medizintechnik*, 1-14, 2010. Retrieved from http://www.academia.edu/download/32523020/Visible_Light_Communications.pdf
- [6] IEEE Standards Association, Retrieved January 9, 2016, from <http://standards.ieee.org/develop/project/802.15.7.html>
- [7] Pradana, A. *Rancang Bangun Layer Fisik Komunikasi Cahaya Tampak Berbasis DC-OFDM dan PWM*. Unpublished M.Sc Thesis, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia, 2016.
- [8] Islm, M.S., & Haas, H. Modulation Techniques for Li-Fi. *ZTE Communications*, 14(2), 29-40, 2016. doi: [10.3969/j.issn.16735188.2016.02.004](https://doi.org/10.3969/j.issn.16735188.2016.02.004)
- [9] Kwon, J.K. Inverse source coding for dimming in visible light communications using NRZ-OOK on reliable links. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 22(19), 1455-1457, 2010. doi: [10.1109/LPT.2010.2062498](https://doi.org/10.1109/LPT.2010.2062498)
- [10] Personick, S. D. Receiver design for digital fiber optical communication system. *The Bell Syst. Technical. J.*, 52(6), 875–886. 1973. doi: [10.1002/j.1538-7305.1973.tb01994.x](https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1973.tb01994.x)
- [11] Adiono, T. *Machine to Machine Communication (M2M) based on Visible Light Communication (VLC)*. Bandung, Indonesia: Pusat Mikroelektronika, 2016.
- [12] Haas, S.M., & Shapiro, J.H. *Capacity of wireless optical communications*. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 21(8), 1346–1357, 2003. doi: [10.1109/JSAC.2003.816618](https://doi.org/10.1109/JSAC.2003.816618)
- [13] Garcia, J. et al. *Dimming of high-brightness LEDs by means of luminous flux thermal estimation*. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 24(4), 1107–1114. 2009. doi: [10.1109/TPEL.2008.2011989](https://doi.org/10.1109/TPEL.2008.2011989)
- [14] Gabriel, C. et al. *Investigation of Suitable Modulation Techniques for Underwater Wireless Optical Communication*. Paper presented at the Int. Workshop on Optical Wireless Communication (IWOW). 2012, October 22 doi: [10.1109/IWOW.2012.6349691](https://doi.org/10.1109/IWOW.2012.6349691)
- [15] Saadi, M. et al. *Performance analysis of optical wireless communication system using pulse width modulation*. Paper presented at the 10th Int. Conf. on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology . May 15-17, 2013. doi: [10.1109/ECTICon.2013.6559627](https://doi.org/10.1109/ECTICon.2013.6559627)
- [16] Jang, I-S. et al. *Implementation of VLC transmitter using MCU for promotion lighting ID services*. Paper presented at the Int. Conf. on Advanced Communication Technology. February 16-19, 2014. doi: [10.1109/ICACT.2014.6779111](https://doi.org/10.1109/ICACT.2014.6779111)

- [17] Zhang, T. et al. *OFDM-PWM scheme for visible light communications*. Optics Communications, 385, 213-218, 2017. doi: [10.1016/j.optcom.2016.10.038](https://doi.org/10.1016/j.optcom.2016.10.038)
- [18] Choi, J-H. et al.. *Visible light communications employing PPM and PWM formats for simultaneous data transmission and dimming*. Opt. Quant Electron, 47(3), 561-574, 2015. doi: [10.1007/s11082-014-9932-0](https://doi.org/10.1007/s11082-014-9932-0)
- [19] Fuada, S., Putra, A.P., & Adiono, T. Analysis of Received Power Characteristics of Commercial Photodiodes in Indoor LoS Channel Visible Light Communication. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* (IJACSA), 8(7), 164-172, 2017. doi: [10.14569/IJACSA.2017.080722](https://doi.org/10.14569/IJACSA.2017.080722)
- [20] Fuada, S., Putra, A.P., Aska, Y., & Adiono, T. Trans-impedance Amplifier (TIA) Design for Visible Light Communication (VLC) using Commercially Available OP-AMP. *Paper presented at the 3rd Int. Conf. on Information Tech. Computer, and Electrical Engineering* (ICITACEE), October 19-20, 2016. doi: [10.1109/ICITACEE.2016.7892405](https://doi.org/10.1109/ICITACEE.2016.7892405).
- [21] Adiono, T., Pradana, A., Putra, R.V.W., & Fuada, S. Analog Filters Design in VLC Analog Front-End Receiver for Reducing Indoor Ambient Light Noise. *Paper presented at the IEEE Asia Pacific Conf. on Circuit and Systems* (APCCAS), October 25-28, 2016. doi: [10.1109/APCCAS.2016.7804058](https://doi.org/10.1109/APCCAS.2016.7804058)
- [22] Fuada, S., Putra, A.P., Aska, Y. & Adiono, T. A First Approach to Design Mobility Function and Noise Filter in VLC System Utilizing Low-cost Analog Circuits. *International Journal of Recent Contributions from Engineering, Science, and IT* (iJES), 5(2), 14 – 30, 2017. doi: [10.3991/ijes.v5i2.6700](https://doi.org/10.3991/ijes.v5i2.6700)
- [23] Adiono, T., & Fuada, S. Optical Interference Noise Filtering over Visible Light Communication System Utilizing Analog High-Pass Filter Circuit. *Paper presented at the 2017 Int. Symp. on Nonlinear Theory and Its Applications* (NOLTA), Cancun, Mexico, December 4-7, 2017.
- [24] Adiono, T., & Fuada, S. Investigation of Optical Interference Noise Characteristics in Visible Light Communication System. *Paper presented at the 2017 Int. Symp. on Nonlinear Theory and Its Applications* (NOLTA), Cancun, Mexico, December 4-7, 2017.
- [25] Fuada, S. *Design and Implementation of Analog Front-End Transceiver Module for Visible Light Communication System*. Unpublished M.Sc Thesis, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia, 2017.
- [26] Adiono, T., Fuada, S., & Pradana, A. (2018, August). A circuit for robust visible light communication systems in indoor environment. *Paper presented at the 10th Int. Conf. on Information Technology and Electrical Engineering* (ICITEE), Bali, Indonesia.
- [27] Adiono, T., Fuada, S., Putra, A.P., & Aska, Y. Desain Awal Analog Front-End Optical Transceiver untuk aplikasi Visible Light Communication. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi* (JNTETI), 5(4), 319-327, 2016. doi: [10.22146/jnteti.v5i4.280](https://doi.org/10.22146/jnteti.v5i4.280).
- [28] Adiono, T., Pradana, A., & Fuada, S. A low-complexity of VLC system using BPSK. *International Journal of Recent Contributions from Engineering, Science, and IT* (iJES), 6(1), 99-106. 2018. doi: [10.3991/ijes.v6i1.8072](https://doi.org/10.3991/ijes.v6i1.8072)
- [29] Pradana, A., Fuada, S., & Adiono, T. Desain dan Implementasi Sistem Visible Light Communication berbasis Pulse Width Modulation. *Accepted in Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*.
- [30] Adiono, T., Fuada, S., & Pradana, A. Desain dan Realisasi Sistem Komunikasi Cahaya Tampak untuk Streaming Teks berbasis PWM. *Jurnal Ilmiah Setrum*, 6(2), 270-279. 2018. Retrieved from http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jis/article/view/2620/pdf_6
- [31] Pradana, A., Ahmadi, N., Adiono, T., Cahyadi, W.A., & Chung, Y-H. VLC Physical Layer Design based on Pulse Position Modulation (PPM) for Stable Illumination. *Paper presented at the Int. Conf. on Intelligent Signal Processing and Communication Systems* (ISPACS). November 9-12, 2015. doi: [10.1109/ISPACS.2015.7432798](https://doi.org/10.1109/ISPACS.2015.7432798)
- [32] Pradana, A., Ahmadi, N., & Adiono, T. Design and Implementation of Visible Light Communication System using Pulse Width Modulation. *Paper presented at the Int. Conf. on Electrical Engineering and Informatics*. August 10-11, 2015. doi: [10.1109/ICEEI.2015.7352464](https://doi.org/10.1109/ICEEI.2015.7352464)