

STUDI AWAL RANCANGAN *BIDIRECTIONAL-MULTIUSER* PADA *VISIBLE LIGHT COMMUNICATION* UNTUK APLIKASI DALAM RUANG (*INDOOR*)

Syifaul Fuada

University Center of Excellence on Microelectronics, Institut Teknologi Bandung
Gedung PAU lantai IV, Jl. Tamansari No.126, Bandung, Jawa Barat, 40132, Indonesia
syifaulfuada@pme.itb.ac.id, fsyifaul@gmail.com

ABSTRAK

Visible Light Communication (VLC) atau komunikasi cahaya tampak merupakan teknologi yang sedang *on fire* selama beberapa tahun ini dan diasumsikan akan terus berlanjut beberapa dekade kedepan karena banyak kelebihan yang ditawarkan, yakni telah tersedia infrastruktur utama berupa lampu penerangan sehingga bersifat *cost-effective*, bebas lisensi, lebih aman (*secure*), kecepatan transmisi mencapai GHz, dan tidak memiliki interferensi elektromagnetik. Karena VLC adalah teknologi yang relatif baru, maka standar komunikasinya juga cenderung berkembang ialah standar IEEE 802.15.17 yang terpublikasi akhir tahun 2010 lalu. Standar ini masih mengajukan teknik modulasi dan juga komunikasi pada skenario *point-to-point* namun sampai saat ini belum mengakomodasi sistem komunikasi dengan skenario *Multiuser* sekaligus transmisi *Bi-directional*. Makalah ini merupakan proposal rancangan dalam rangka mendesain sistem VLC secara *bi-directional* (*uplink* dan *downlink*) yang mampu dipakai pada skema *multiuser* dengan kecepatan *bitrate* pada *downlink* mencapai 1 Mbps untuk aplikasi dalam ruang (*indoor*). Makalah ini terbagi menjadi beberapa bagian pembahasan. Pertama mendefinisikan latar belakang akan dilakukannya sebuah penelitian untuk memperbaiki *platform* penelitian yang terdahulu dan kontribusinya. Bagian kedua memaparkan penelitian yang relevan beserta *state of the art* antara penelitian ini dengan lainnya. Bagian ketiga merinci teori dasar. Bagian keempat memaparkan metodologi penelitian dan terakhir adalah batasan masalah dan penutup.

Kata kunci: *Bidirectional, Multiuser, Visible Light Communication, Aplikasi Indoor*

ABSTRACT

Visible Light Communication (VLC) is a technology that has been on fire for several years and it is assumed to continue in the next few decades because of the many advantages offered, namely the main infrastructure in the form of lighting so that it is cost-effective, free license, safer (Secure), the transmission speed reaches GHz, and has no electromagnetic interference. Since VLC is a relatively new technology, its communication standards also tend to develop is the IEEE 802.15.17 standard published late 2010. This standard still proposes modulation techniques as well as communications in the point-to-point scenario but until now has not accommodated the communication system with Multiuser scenario as well as Bi-directional transmission. This paper is designed to design a bi-directional (uplink and downlink) VLC system that can be used on multi-user schemes with bitrate speeds downlink of up to 1 Mbps for indoor applications. This paper is divided into several parts of the discussion. First, define the background of a research to improve the previous research platform and its contribution. The second part describes the relevant research along with the state of the art between this study and others. The third section details basic theories. The fourth section describes the methodology of research and the last is the limitation of the problem and the conclusion.

Keywords: *Bidirectional, Multiuser, Visible Light Communication, Indoor Applications*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Visible Light Communication (VLC) atau juga dikenal dengan Li-Fi adalah salah satu alternatif komunikasi nirkabel selain radio. VLC menggunakan cahaya tampak dengan panjang gelombang 375 hingga 780 nm sebagai medium komunikasi [1]. Sistem VLC mempunyai beberapa keunggulan yang ditawarkan dibandingkan komunikasi *Radio Frequency* (RF) dan *Infra Red* (IR), yakni *cost-effective*, bebas lisensi, lebih aman (*secure*), *highest speed*, dan tidak memiliki interferensi elektromagnetik [2]. Pada tahun 2014, proyek *Ultra-Parallel Visible Light Communication* (UP-VLC) berhasil mencapai kecepatan transmisi data hingga 3 Gbps menggunakan dengan jarak antara *transmitter* dan *receiver* dalam percobaan tersebut hanya beberapa sentimeter [3]. Namun hasil penelitian ini menunjukkan potensi teknologi VLC sebagai teknologi alternatif yang menarik untuk menyediakan akses kecepatan tinggi bagi perangkat seperti tablet, laptop, smartphone dan perangkat-perangkat lain dalam ruang (*indoor environment*).

Komunikasi cahaya tampak dapat dilakukan dengan menggunakan *LED* sebagai *transmitter* dan *Photo Detector* (PD) sebagai *receiver*. *Transmitter* mengkonversi sinyal listrik menjadi sinyal optik dan sebaliknya *receiver/detector* mengkonversi daya optik menjadi arus listrik. Transmisi data dapat dilakukan dengan mengubah-ubah level iluminasi LED pada sisi *transmitter* (*Intensity Modulation*). Lalu photodiode pada sisi *receiver* membangkitkan pulsa listrik yang linier terhadap level iluminasi yang diterima (*Direct Detection*) [4].

Standar untuk sistem VLC baru dirancang dalam 5 tahun belakangan ini, yakni dimulai dari tahun 2009 dimana IEEE 802.15.17 membentuk *task group* yang bekerja untuk membuat standar VLC yang meliputi *physical layer* dan *medium access control* (MAC) berdasarkan pendekatan *clean slate*. Selanjutnya *draft* standar IEEE 802.15.7 tersebut dipublikasikan pada Tahun 2010. *Draft* standar ini mengajukan penggunaan beberapa teknik modulasi antara lain *On-Off Keying* (OOK), *Variable Pulse-Position Modulation* (VPPM), dan *Color-Shift Keying* (CSK). Selanjutnya, standar IEEE 802.15.7 tersebut juga mengajukan komunikasi VLC dengan skenario *point-to-point*. Namun sampai saat ini belum mengakomodasi sistem

komunikasi dengan skenario *Multiuser* sekaligus transmisi dua arah atau *Bi-directional* secara *uplink* maupun *downlink*.

Belum adanya standar baku tersebut membuat para peneliti dari seluruh dunia mengajukan berbagai metode dalam satu dekade terakhir ini. Seperti yang dilakukan oleh [5] dan [6] yang mengusulkan metode modulasi CSK untuk skema *Multiuser*. Namun penelitian ini berfokus pada sisi *downlink* sehingga diperlukan pengembangan lebih lanjut agar dapat digunakan untuk transmisi *uplink*. Penelitian lain dilakukan oleh [7] dengan skema *Bi-directional Multiuser* menggunakan metode *user allocation*. Namun pada penelitian ini, penggunaan media cahaya adalah LED warna putih baik pada bagian *receiver* ataupun *transmitter*, sehingga algoritma yang ditanam pada sistem sangat kompleks.

Pada penelitian yang akan dilakukan, penulis mengusulkan sistem VLC secara *bidirectional* dengan LED tiga warna pada bagian *transmitter* sebagai *user* untuk membedakan berbagai *user* dalam satu ruangan tersebut, yakni led merah, led biru dan led hijau. Pada bagian *transmitter*, penulis menggunakan LED warna putih.

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- *Physical layer* dari VLC dirancang adalah untuk aplikasi dalam ruangan (*indoor environment*)
- Penelitian VLC berfokus pada skema *Bi-directional* yakni komunikasi dilakukan dua arah baik secara *downlink* ataupun *uplink*.
- Pada skema *multiuser* penulis menggunakan *multicolour-LED* dengan batasan tiga warna, yakni red warna merah, LED warna biru dan led warna hijau.
- Ruangun unjuk kerja sistem VLC dibatasi dengan ukuran $p \times l \times t = 3\text{m} \times 3\text{m} \times 3\text{m}$.
- Kecepatan data (*bitrate*) pada *downlink* maksimal adalah ~ 1 Mbps
- Modulasi yang digunakan adalah PWM.

1.2 Kontribusi Penelitian dan Tujuan

Melalui skema penelitian ini diharapkan hasil demonstrasi/ unjuk kerja sistem dapat memperbaiki performa dari penelitian-penelitian sebelumnya (penelitian yang dilakukan oleh [5], [6], [7]). Harapannya produk luaran penelitian dapat diterapkan sebagai platform komunikasi yang ideal pada skala dalam ruang (*indoor*) baik perkantoran, instansi, rumah hunian atau bangunan lainnya di masa mendatang. Lebih

jauh lagi, dapat dijadikan referensi dan tolok ukur dalam pengembangan berbagai penelitian yang lebih lanjut baik dari penulis sendiri ataupun peneliti mancanegara sehingga pada akhirnya menjadi standar *platform* IEEE 802.15.7 untuk skema *Bi-directional* sekaligus *Multiuser* pada sisi *physical layer*. Tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk mendesain sistem VLC secara *bi-directional* (*uplink* dan *downlink*) yang mampu dipakai pada skema *multiuser* dengan kecepatan *bitrate* pada *downlink* mencapai 1 Mbps.

1.3 Penelitian yang Relevan

Untuk mengetahui hasil penelitian terkini sekaligus sebagai perbandingan antara penelitian yang sudah pernah dilakukan dengan penelitian ini diperlukan studi literatur. Literatur yang direviu adalah artikel-artikel berhubungan dengan *Bi-directional* sekaligus *Multiuser* pada VLC. Detail ditunjukkan pada Tabel 1, setidaknya terdapat tiga belas hasil riset yang dijadikan sebagai komparasi.

Tabel 1. Hasil riset penelitian VLC: State of The Art

No	Researcher	Keterangan	Bi-directional	Multi user	Skema Ruang (m)	Modulasi	Trans.	Rec.	Up link	Down link
1	S.V Tiwari et al. (2015)	Metode Color Coded Multiple Acces (CCMA)	ya	ya	5 x 5 x 3	OOK-OFDM	P-LED & RGB LED	PD	31.2 Mb/s	62,5 Mb/s
2	S.H. Yang et al. (2011)	Metode Wavelength Filtering	tidak	ya	5 x 5 x 3	-	LED R, G, B	PD	-	300 Mb/s
3	B. Li et al. (2015)	Metode Optical strategy	tidak	ya	7,5 x 7,5 x 3	2PAM	LED	PD	-	100 Mb/s
4	H. Ma et al. (2015)	Coordinated Broadcasting model	tidak	ya	5 x 5 x 3	OOK	LED	PD	-	-
6	S.H Chen et al. (2014) [21]	Color Filter using Camera + SIFT Algoritm (skema outdoor)	ya	Tidak	-	OOK	RGB LED	Camera sensor	-	540 b/s
7	C. Gossu et al. [22]	Komunikasi point to point	Tidak	tidak	Jarak 2,5m	OFDM	RGB LED	APD	-	780 Mb/s
8	W. Yuanquan. et al	Frequency determining	ya	tidak	-	QAM-OFDM	RGB LED	PD	1.15 Gb/s	300 Mb/s
9	J.M.L. Rivera et al	Math model for skema multiuser	tidak	Ya	-	-	RGB LED	PD	-	-
10	A. Sewaiwar (2015)	Optical strategy	tidak	ya	5 x 5 x 3	OOK	LED R,G,B	PD	-	3 Gb/s
11	Q. Wang	MIMO-OFDM models	tidak	ya	5 x 5 x 3	OFDM	p-LED	PD	-	-
12	Y. Wang et al [11]	Asyncronus Bi-directional	ya	tidak	5 x 5 x 3	-	RGB	PIN	-	575 Mb/s
13	C. Tang et al [8]	Protograph-based low-density parity-check (P-LDPC) codes	tidak	tidak			RGB	PIN	-	-
14	(penelitian ini)	Color filtering	ya	ya	5 x 5 x 3	PWM	LED R, G, B & p-LED	PD	1 Mb/s	1 Mb/s

Tabel 1 terbagi menjadi sebelas kolom, yakni nomor urut berdasarkan tahun, keterangan teknologi yang di *improve*, keterangan bi-directional atau tidak, keterangan multiuser atau tidak, skema ruangan indoor yang digunakan dalam demonstrasi penelitian, perangkat transmitter, perangkat receiver, kecepatan *uplink* dan kecepatan *downlink* yang diperoleh.

S.V. Tiwari [17] mengusulkan skema *Bidirectional* sekaligus *Multiuser* dengan rangkaian *fully digital. Platform* menggunakan LED warna merah, hijau dan biru (RGB) sebagai *downlink* dan LED fosfor warna putih (*p*-LED) untuk *uplink*. Transmisi *downlink* untuk perangkat data pengguna menggunakan LED warna merah dan perangkat *smarthome* menggunakan LED warna hijau. Sedangkan transmisi untuk kedua jenis perangkat adalah menggunakan warna biru. Hasil penelitian menunjukkan sistem dapat bekerja sebagaimana mestinya dan mampu untuk meminimalisir *flicker-free*. Perbedaan penelitian [17] dengan penelitian ini terletak pada jenis modulasi dan desain penelitian. Penulis menggunakan modulasi PWM dan batasan *bitrate* maksimal 1 Mb/s.

Selanjutnya S.H. Yang et al. [18] melakukan penelitian yang focus pada komunikasi *directional point-to-point* atau satu arah dengan optimalisasi multisel menggunakan RGB LED yang disusun secara heksagonal. Tujuannya adalah untuk meminimalisir gangguan (*interference*) yang disebabkan oleh perbedaan panjang gelombang dari warna-warna cahaya LED RGB saat melakukan *uplink*. Skenario *array* LED RGB secara heksagonal ini dapat lebih ditingkatkan performansinya dengan menambahkan filter warna. Sementara penelitian ini berfokus pada *Bidirectional Multiuser*.

B. Li et al. [19] mengangkat topik sistem komunikasi menggunakan cahaya tampak dengan skenario *Multiuser* dan *Multi Input Multi Output (MIMO)*. Modulasi yang dipakai adalah 2PAM, LED putih sebagai transmitter dan photodiode sebagai receiver. Meskipun kecepatan *Downlink* yang didapatkan adalah 100 Mb/s, penelitian ini tidak mengakomodasi komunikasi secara *Bidirectional*.

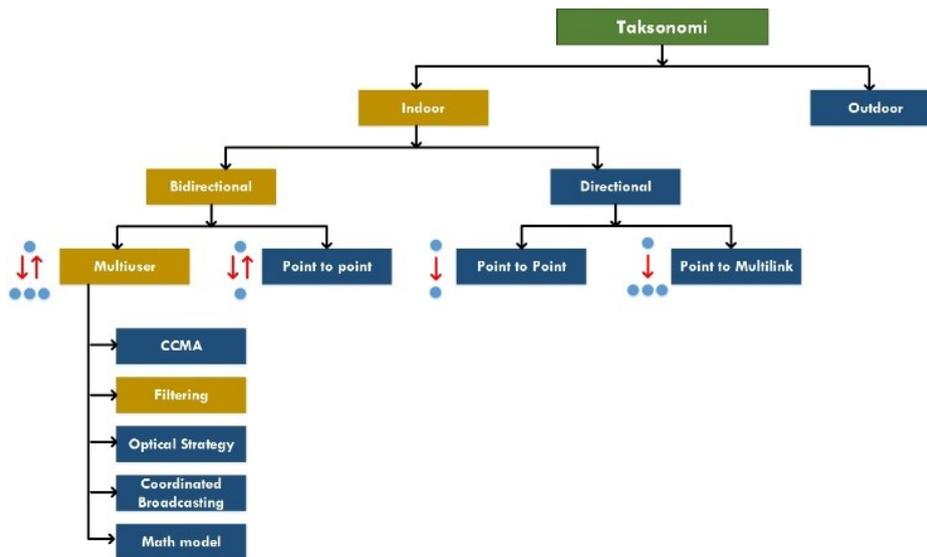
H. Ma et al. [20] merumuskan teknik bagaimana melakukan koordinasi antara perangkat transmitter dengan satu user. Metode

ini dinamakan *Coordinated Broadcasting Model* untuk skema *multiuser*. Modulasi yang digunakan adalah OOK, perangkat transmitter menggunakan LED putih dan photodiode pada bagian receiver.

W. Yuanquan. et al [23] membahas secara focus tentang sistem komunikasi *bi-directional point-to-point* VLC dalam ruang (*indoor*) berbasis RGB-LED sebagai transmitter dan PD sebagai receiver. Modulasi yang digunakan adalah QAM-OFDM dan metode yang digunakan untuk pengenalan pola warna LED yang dipancarkan adalah berdasarkan perbedaan frekuensi. Untuk *downlink* digunakan frekuensi rendah sedangkan untuk *uplink* menggunakan frekuensi tinggi. *Bit rate* yang diperoleh mencapai 1.15 Gb/s untuk *downlink* dan untuk *uplink* 300 Mb/s. Penelitian ini tidak mengakomodasi skema *Multiuser*. Selanjutnya J.M.L. Rivera et al [24] merumuskan perhitungan matematis untuk mendapatkan sistem VLC yang dapat beradaptasi dengan berbagai ukuran ruangan untuk dapat diaplikasikan pada skenario *point to point-multiuser*. Sementara penelitian ini dipakai untuk skema *Bidirectional-Multiuser*.

A. Sewaiwar [25] merumuskan metode *Double Optical Diversity (DOD)* pada skema *multiuser* menggunakan RGB LED. Didapatkan kecepatan data *downlink* mencapai 3-Gb/s dengan modulasi OOK. Penelitian ini tidak mengakomodasi komunikasi *multiuser*. Selanjutnya Q. Wang [26] menyelidiki konfigurasi yang efektif dari komunikasi *multiuser-MIMO* menggunakan modulasi OFDM dengan menggunakan parameter variasi jarak dari *link transmitter-receiver*, waktu *delay* pada *multiuser* dan perbedaan frekuensi. LED yang digunakan adalah *p*-LED dan PD. Hasil penelitian adalah sejauh pemodelan saja sehingga tidak dicantumkan berapa kecepatan data *downlink* yang didapatkan.

Untuk mempermudah melihat posisi penelitian ini, maka dapat dibuat taksonomi, pengelompokan ditunjukkan pada Gambar 1. Secara garis besar dibagi menjadi dua bagian yakni *indoor* dan *outdoor*. Khusus pada bagian *indoor* model komunikasi dibagi menjadi dua bagian yakni *Bi-directional* (komunikasi dua arah) dan *Directional*.



Gambar 1. Taksonomi penelitian skema VLC

Penelitian ini berfokus pada skema *multiuser* dengan menggunakan metode *filtering colour* untuk mengenali pola warna LED RGB pada *receiver*.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Perbandingan VLC dengan media lain

Penggunaan cahaya tampak sebagai media komunikasi dianggap sebagai satu langkah maju untuk menciptakan konsep “*Green Communication*” [15]. VLC juga menjadi solusi terhadap permasalahan larangan penggunaan radio di tempat-tempat seperti di daerah pertambangan dan kilang minyak, di rumah sakit, di kabin pesawat, dll.

Bandwidth yang disediakan oleh cahaya tampak adalah ~ 400 THz yang tak berlisensi dan bersifat *secure* dengan perkiraan 1000 kali lebih lebar *bandwidth*-nya dibandingkan kapasitas *Radio Frequency* (RF) yang selama ini digunakan untuk sarana komunikasi [9]. Pada komunikasi RF dan *Infra Red* (IR) memerlukan *base-station* spesifik sehingga memerlukan tambahan infrastruktur yang mahal. Sementara pada VLC tidak memerlukan banyak tambahan infrastruktur karena memanfaatkan lampu penerangan yang telah tersedia didalam bangunan hunian sebagai perangkat komunikasi. Kemudian dari sisi implementasi juga jauh lebih murah dan mudah [12].

Perbedaan terbesar antara RF dan IR dengan VLC adalah propagasi terhadap penghalang. RF dapat menyediakan koneksi yang dapat menembus suatu penghalang sedangkan koneksi VLC dan IR adalah sebaliknya, tembok

misalnya. Namun justru dengan karakteristik seperti ini, VLC dapat menyediakan koneksi yang lebih aman (*secure*) dan lebih cepat kepada *user* pada area yang telah ditentukan [13].

Kemudian, RF rentan terhadap interferensi elektromagnetik sedangkan VLC dan IR rentan terhadap interferensi cahaya sekitar (*ambient light*) [10]. Ketika membandingkan dari sisi kesehatan, RF memiliki potensi resiko yang jauh lebih besar daripada IR dan VLC. Sedangkan IR beresiko terhadap kesehatan kulit dan mata karena pancaran radiasi tak tampak dari IR yang menimbulkan efek pemanasan yang kemudian terserap oleh dua pancaindera tersebut [14].

2.2 Macam-macam LED

LED merupakan perangkat semikonduktor yang memiliki kemampuan mengubah energi listrik secara langsung menjadi energi cahaya. Sama halnya diode, struktur utama dalam LED adalah sebuah chip semikonduktor yang menciptakan *p-n junction*. Foton terbentuk dan terpancar menjadi cahaya tampak. Efek ini disebut *electroluminescence* [16].

Keunggulan LED selain menghasilkan cahaya yang terang juga mampu dikontrol posisi *switch on* ke *off* atau sebaliknya dengan kecepatan tinggi sehingga memungkinkan dapat dikendalikan level iluminasinya pada frekuensi tinggi, hal ini tidak dapat dilakukan pada penerangan konvensional. Artinya LED dapat dimanfaatkan sebagai alat penerangan sekaligus komunikasi secara bersamaan [27], [35]. Setiap jenis LED memiliki karakteristik masing-masing sehingga referensi ini dapat dijadikan pedoman

untuk memilih jenis LED yang sesuai dengan kebutuhan.

2.3 Gangguan dalam VLC

Salah satu faktor yang sangat mempengaruhi kanal optik dari VLC ini adalah interferensi dari cahaya lain (*ambient light*) yang dapat berupa cahaya matahari (baik itu langsung ataupun pantulannya), lampu pijar, ataupun lampu neon.

VLC ini didesain oleh penulis ini adalah untuk aplikasi dalam ruang (*indoor*), sehingga sumber *ambient light* yang sangat berpengaruh signifikan adalah lampu pijar dan lampu neon. *Photocurrent* yang dibangkitkan oleh *ambient light* ini merupakan sumber *noise* pada *receiver* yang dapat memperburuk performa komunikasi.

Berdasarkan investigasi yang dilakukan oleh penulis, lampu pijar dan lampu neon mengemisikan cahaya sinusoidal dengan frekuensi ~100 Hz ketika disuplai oleh listrik dengan frekuensi 50 Hz [28].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk mencapai tujuan, penelitian ini dilaksanakan menjadi beberapa langkah, yakni:

Studi literature yakni mencari bahan materi yang berhubungan dengan teori komunikasi VLC secara *Bi-directional* dan teori pengenalan pola multi-warna pada LED, secara khusus LED RGB. Selanjutnya melakukan *review* literatur-literatur penelitian yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan.

Penentuan spesifikasi sistem VLC yang akan dibuat, yakni: penentuan jenis konfigurasi *link* antara *transmitter* dan *receiver*, jarak antara *transmitter* dan *receiver* dan modulasi yang dipilih. Berdasarkan spesifikasi yang telah ditentukan, dirancanglah suatu model sistem VLC yang mendukung komunikasi *bi-directional* dan *multiuser*.

Tahap pemodelan fokus pada pemodelan dan simulasi kanal optik cahaya tampak. Pemodelan kanal optik diperlukan agar karakteristik kanal optik dapat diketahui dan dapat dijadikan referensi dalam mendesain rangkaian AFE untuk mereduksi *noise*.

Tahap rancangan skema penelitian lebih menitikberatkan pada sisi teknis, yakni ukuran ruang yang digunakan untuk demonstrasi rancangan, parameter-parameter yang digunakan dalam pengujian dan alat ukur yang diperlukan.

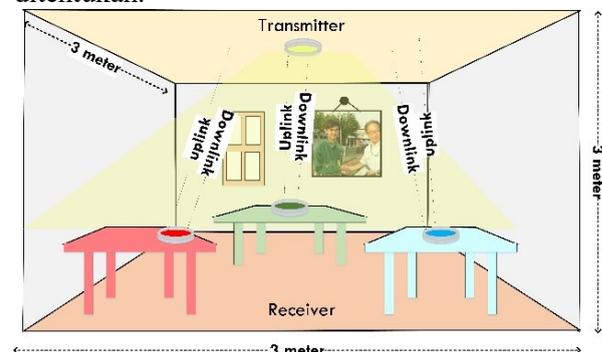
Metode perancangan dalam penelitian ini adalah pengerjaan dari level bawah ke atas

(*bottom up*). Perancangan sistem dimulai dari dari bagian *layer* fisik yakni bagian DSP, secara khusus bagian modulasi selanjutnya rangkaian AFE. Untuk mendesain AFE diperlukan kegiatan simulasi untuk mengetahui apakah rangkaian yang telah dibangun melalui perhitungan matematis sesuai yang diharapkan atau tidak. Simulasi menggunakan perangkat lunak LTSpice IV. Setelah selesai simulasi selanjutnya adalah mengimplementasikan yang melibatkan perangkat keras yakni *project board* dan alat ukur berupa *oscilloscope* dan *function generator*.

Pengujian dilakukan berdasarkan skema penelitian dan selanjutnya dilakukan evaluasi, apabila tidak sesuai antara hasil dengan teori atau tidak sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan maka dilakukan perancangan ulang dimulai dari bagian DSP. Apabila telah sesuai maka dilakukan pengemasan produk dan selanjutnya menulis laporan, terakhir adalah melakukan publikasi.

3.1 Skema Penelitian

Gambar 2 merupakan lingkungan dalam ruang (*indoor*) dengan ukuran yang telah ditentukan.



Gambar 2. Skema lingkungan sistem dalam penelitian

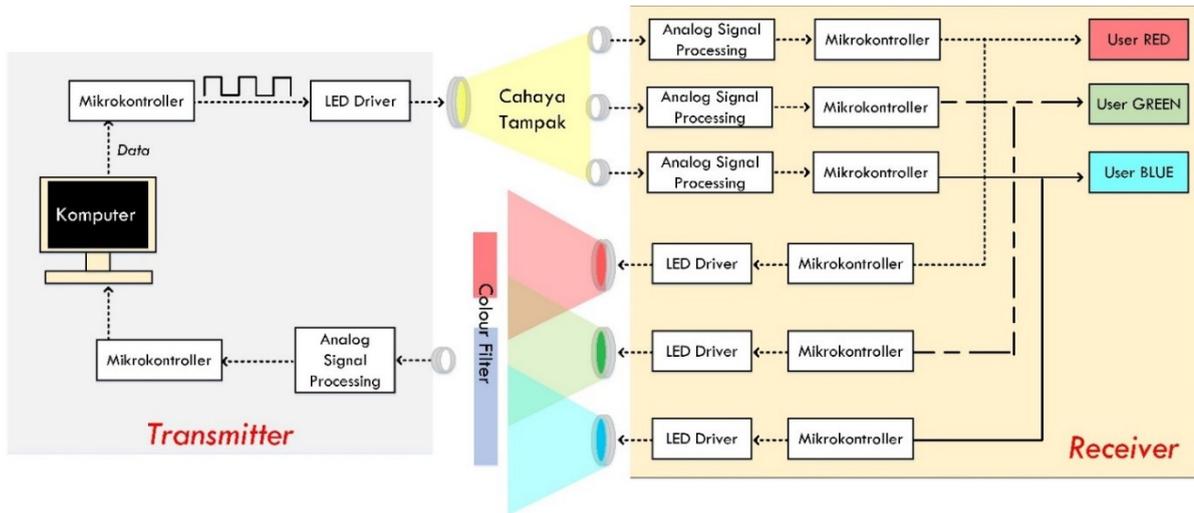
3.2 Identifikasi Sistem

VLC yang didesain terdiri dari *transmitter* dan *receiver* dengan topologi komunikasi *Bi-directional*. LED digunakan sebagai *antenna transmitter*, penulis menggunakan tunggal LED putih dengan daya tinggi atau *high brightness LED* (HBLED) karena warna putih ini cocok digunakan sebagai sarana penerangan ruangan. Daya LED yang dipilih adalah maksimum 40 Watt, sehingga dapat digunakan untuk berkomunikasi setidaknya dalam jarak 1.5 hingga 3 meter dan tetap aman untuk mata manusia. Sedangkan photodiode digunakan sebagai *antenna receiver* karena memiliki

respon waktu yang paling cepat dibandingkan *Light Dependent Resistor* (LDR) dan phototransistor [29]. Sistem mendukung komunikasi dua arah dengan *multiuser* yakni LED merah, LED biru dan LED hijau. *Link* antara *antenna transmitter* dan *receiver* ini disusun dengan konfigurasi *line-of-sight* (LOS).

3.3 Pemodelan

Dengan mengacu pada Gambar 2 tentang skema lingkungan sistem, berikut pada Gambar 3 merupakan blok diagram sistem *transmitter* dan sistem *receiver* dari penelitian ini. Topologi komunikasi antara *transmitter* dengan *receiver* adalah *Bi-directional*.



Gambar 3. Blok diagram *transmitter* dan *receiver*

Pada bagian *transmitter* Sistem VLC dirancang agar mampu mentransmisikan data menggunakan medium cahaya tampak. Mula-mula sinyal *output* dari mikrokontroller dimasukkan ke rangkaian driver LED. Intensitas cahaya LED ini sesuai dengan sinyal keluaran dari modulator. Selanjutnya LED mempropagasikan sinyal termodulasi ini ke ruang bebas menggunakan medium cahaya tampak. Dengan menggunakan metode *Direct Detection*, intensitas cahaya yang dipancarkan oleh LED diterima oleh photodiode dan diubah menjadi sinyal listrik yang linier terhadap intensitas cahaya yang diterima. Sinyal yang diterima tersebut rentan terhadap *noise* dan *interferensi* yang mungkin terjadi selama sinyal merambat di ruang bebas. Rangkaian *analog signal processing* berfungsi untuk mengkondisikan sinyal terdistorsi sehingga dapat diolah dengan baik oleh demodulator yang pada akhirnya data dapat diubah kembali sesuai dengan data asli.

Pada bagian *receiver*, *user* dapat melakukan *uplink* data ke *transmitter*. Terdapat tiga *user* dalam skema penelitian ini yang direpresentasikan oleh LED merah, LED hijau dan LED biru. Ketiga LED ini difungsikan sebagai *multiuser*. Sistem dapat mengenali pola warna sehingga dapat mengetahui *user* mana yang sedang meminta akses.

3.4 Pemodelan Modulasi

Dalam penelitian ini, modulasi digital yang dipilih adalah *Pulse Width Modulation* (PWM) yang mana memodulasi data terhadap lebar pulsa. Jenis modulasi ini dipilih karena dapat mendukung modulasi *multi-level* agar pulsa untuk tiap satu periode mampu membawa bit lebih banyak.

PWM mengkodekan pesan terhadap lebar pulsa atau *duty cycle* yang merupakan perbandingan antara waktu 'on' terhadap periode satu pulsa. *Duty cycle* pada PWM dalam aplikasi komunikasi digunakan untuk membawa informasi melewati suatu kanal (ruang hampa atau media kabel). Nilai rata-rata dari gelombang tersebut adalah,

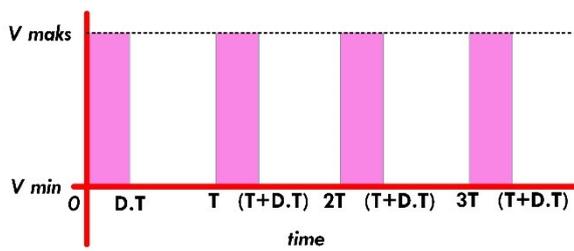
$$\bar{v} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt \tag{1}$$

Karena $v(t)$ adalah memiliki nilai maksimum v_{maks} pada saat $0 < t < D.T$ dan nilai minimum v_{min} pada saat $D.T < t < T$, maka persamaan 1 menjadi:

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

$$\bar{v} = \frac{D.T.v_{max} + T(1-D)v_{min}}{T} \tag{2}$$

$$\bar{v} = D \cdot v_{max} + (1 - D)v_{min}$$



Gambar 3. Bentuk gelombang pulsa PWM

VLC yang dirancang ini menggunakan mekanisme *Intensity Modulation* (IM) dan *Direct Detection*, maka tegangan v adalah tegangan LED (V_{LED}). Sehingga daya pada LED adalah,

$$P_{LED} = v_{LED} i_{LED} \tag{3}$$

Dimana i adalah arus. Intensitas (I) dari LED akan sangat dipengaruhi dari daya LED,

$$I_{LED} \approx P_{LED} \tag{4}$$

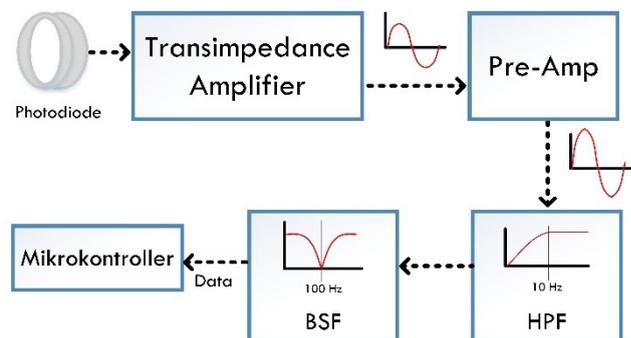
Tegangan output modulasi v tersebut sangat mempengaruhi intensitas LED. Semakin tinggi nilai v , maka semakin tinggi intensitas LED/semakin terang dan begitu juga sebaliknya. Berdasarkan persamaan 4, nilai v sangat bergantung terhadap D (*duty cycle*). Apabila PWM digunakan untuk memodulasi data digital 1 bit, maka untuk membedakan data 0 dan 1 adalah dengan memvariasikan nilai “D”. Apabila PWM digunakan dalam VLC, maka nilai “D” harus dipilih cukup lebar sehingga *noise margin*nya tinggi namun harus cukup sempit sehingga tidak menimbulkan efek *dimming* terhadap fungsi pencahayaan.

3.5 Analog Front End (AFE)

Jenis LED *driver* yang dirancang dalam penelitian ini yaitu LED *driver* yang mendukung modulasi PWM, yakni LED *driver* topologi *switch* (diskusi khusus dijabarkan pada penelitian lainnya [30]). Sedangkan pada rangkaian Analog pada *receiver* berfungsi untuk mengkondisikan sinyal yang diterima oleh photodiode. Adapun blok diagram dari AFE *receiver* ditunjukkan pada Gambar 4.

Sinyal yang dibangkitkan oleh photodiode diinputkan pada *transimpedance amplifier* (TIA) yang berfungsi mengubah arus menjadi tegangan, secara khusus dideskripsikan di [31]. *Pre-amplifier* adalah penguat tegangan tahap

pertama karena amplitudo sinyal keluaran dari TIA masih terlalu kecil. *High pass filter* dan *Band stop filter* didesain untuk menghilangkan interferensi sinyal dengan frekuensi 100 Hz yang dibangkitkan oleh sumber cahaya lain seperti lampu neon dan lampu pijar, diskusi perancangan analog *filter* dipaparkan pada penelitian lainnya [32], [33]. Baik rangkaian AFE transmitter maupun transceiver rancangan penulis, telah mampu mengirimkan media, yakni *streaming* audio secara satu arah [34]. Pada penelitian ini, diterapkan untuk tujuan *multiuser*.



Gambar 4. Rangkaian AFE Receiver

IV. PENUTUP

Media komunikasi merupakan sebuah *platform* untuk meningkatkan kualitas kehidupan yang lebih baik dan menjadi pendorong kegiatan ekonomi. Dengan memanfaatkan infrastruktur sistem penerangan yang sudah banyak tersedia di berbagai tempat, maka VLC berpotensi besar digunakan sebagai alternatif komunikasi nirkabel di masa depan.

Hasil penelitian ini nantinya dapat memberikan sumbangan pengetahuan tentang bagaimana *platform* VLC yang *Bi-directional* sekaligus *multiuser* dimana *user-user* tersebut direpresentasikan oleh LED merah, hijau dan biru dan sistem dapat mengenalinya saat *user* melakukan *uplink*. *Platform* didesain dengan kecepatan *Downlink* adalah 1 Mbps sehingga dalam aplikasinya cukup digunakan untuk memutar *video* kualitas 3GP.

Harapan dari penulis adalah hasil produk/sistem dari penelitian ini dapat diterapkan sebagai *platform* komunikasi yang ideal untuk diterapkan pada skala dalam ruang baik perkantoran ataupun rumah hunian dimasa mendatang. Lebih jauh lagi, dapat dijadikan referensi dan tolok ukur dalam pengembangan penelitian-penelitian yang lebih lanjut baik dari

penulis sendiri ataupun peneliti mancanegara sehingga pada akhirnya menjadi standar *platform* IEEE 802.15.7 untuk skema *Bi-directional* sekaligus *Multiuser* pada sisi *physical layer*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Ghassemlooy, W. Popoola, and S. Rajbhandari, *Optical Wireless Communications: System and Channel Modelling With MATLAB*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2012.
- [2] "Infrared data association," Walnut Creek, CA, USA, 2012. [Online]. Available: <http://www.irda.org>
- [3] D. Tsonev, *et al.*, A 3Gb/s single-LED OFDM-based wireless VLC link using a gallium nitride μ LED, *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 26(7), pp. 637 – 640, 2014.
- [4] 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] K. Bandara and Y.H. Chung, "Novel Color-clustered Multiuser Visible Light Communication," *Trans. Emerg. Telecommunication Technol.*, Vol. 25(6), pp. 579 – 590, 2014.
- [6] J.M.L. Rivera, *et al.*, "Multiuser CSK scheme for indoor visible light communications," *Opt. Express*, Vol. 22(20), pp. 24256 – 24267, 2014.
- [7] A.Sewaiwar, S.V. Tiwari, and Y.H. Chung, "Novel user allocation scheme for full duplex multiuser bidirectional Li-Fi network," *Opt. Commun.* Vol. 339, pp. 153 – 156, 2014.
- [8] C. Tang, M. Jiang, H. Shen, and C. Zhao, "Analysis and Optimization of P-LDPC Coded RGB-LED-Based VLC Systems," *IEEE Photonics J.*, Vol. 7(6), December 2015.
- [9] H. Parikh, J. Chokshi, N. Gala, and T. Biradar, "Wirelessly transmitting a grayscale image using visible light," *Proc. of ICATE*, pp. 1 – 6, 2013.
- [10] S. Fuada, "Kajian Aspek *Security* Pada Jaringan Informasi dan Komunikasi Berbasis Visible Light Communication," *J. Informatika – Telekomunikasi – Elektronika* (INFOTEL), Vol. 9(1), pp. 108 – 121, February 2017.
- [11] Q. Wang, Z. Wang, and L. Dai, "Multiuser MIMO-OFDM for Visible Light Communications," *IEEE Photonics J.*, Vol. 7(6), December 2015.
- [12] S. Zhao, J. Xu, and O. Trescases, "A dimmable LED driver for Visible Light Communication (VLC) based on LLC resonant DC-DC converter operating in burst mode," *Proc. of the 28th Annu. IEEE APEC Expo*, pp. 2144 – 2150, 2013.
- [13] Y. Wang, Y. Wang, N. Chi, J. Yu, and H. Shang, "Demonstration of 575-mb/s downlink and 225-mb/s uplink bi-directional SCM-WDM visible light communication using RGB LED and phosphor-based LED," *Opt. Exp.*, Vol. 21(1), pp. 1203 – 1208, January 2013.
- [14] E. Schubert, *Light-Emitting Diodes*. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2006.
- [15] S. Wu, H. Wang, and C-H. Young, "Visible Light Communications for 5G Wireless Networking Systems: From Fixed to Mobile Communications," *IEEE Network*, Vol. 29(6), pp. 41 – 45, November 2014.
- [16] Y.Gu, N. Narendran, T. Dong, and H. Wu, "Spectral and luminous efficacy change of high-power LEDs under different dimming methods," *Proc. the 6th Int. Conf. Solid State Lighting*, Vol. 6337, 2006, Art. ID. 63370J
- [17] S.V. Tiwari, A. Sewaiwar, and Y.H. Chung, "Color coded multiple access scheme for bidirectional multiuser visible light communications in smart home technologies," *ELSEVIER Optics Communications*, Vol. 353, pp. 1 – 5, October 2015.
- [18] S.H. Yang, H.S. Kim, Y.H. Son, and S.K. Han, "Reduction of Optical Interference by Wavelength Filtering in RGB-LED Based Indoor VLC System", *Proc. of the 16th Opto-Electronics and Comm. Conf. (OECC)*, pp. 551 – 552, July 2011.
- [19] B. Li, *et al.*, "Multiuser MISO Transceiver Design for Indoor Downlink Visible Light Communication under Per-LED Optical Power Constraints", *IEEE Photonics Journal*, Vol. 7(4), #Article 7201415, August 2015.
- [20] H. Ma, L. Lampe, and S. Hranilovic, "Coordinated Broadcasting for Multiuser

- Indoor Visible Light Communication Systems”, *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 63(9), pp. 3313 - 3324, July 2015.
- [21] S.H. Chen, and C.W. Chow, “Color-Filter-Free WDM MIMO RGB-Led Visible Light Communication System Using Mobile-Phone Camera”, *IEEE* 2014.
- [22] G. Cossu, *et al.*, “Long Distance Indoor High Speed Visible Light Communication System Based on RGB LEDs”, *Prof. of Communications and Photonics Conf. (ACP)*, pp.1 – 3, November 2012.
- [23] W. Yuanquan and C. Nan, “A High-Speed Bi-Directional Visible Light Communication System Based on RGB-LED”, *China Communications*, Vol. 11 (3), pp. 40 – 44, March 2014.
- [24] J.M.L. Rivera, *et al.*, “Multiuser Scheme for Indoor Visible Light Communications using RGB LEDs”, *Proc. of Int. Work Conf. on Bio-Inspired Intellegence (IWOBI)*, pp. 119 – 123, July 2014.
- [25] A. Sewaiwar, P.P. Han, and Y. H. Chung, “3-Gbit/s Indoor Visible Light Communications Using Optical Diversity Schemes”, *IEEE Photonics J.*, Vol. 7 (6), December 2015.
- [26] Y. Wang, *et al.*, “875-Mb/s Asynchronous Bi-directional 64QAM-OFDM SCM-WDM Transmission over RGB-LED-based Visible Light Communication System,” *Optical Fiber Communication Conf. (OFC) 2013* paper: OTh1G.3.
- [27] 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. Symp. on Electronics and Smart Devices (ISESD)*, pp. 371 – 375, March 2017. DOI: [10.1109/ISESD.2016.7886750](https://doi.org/10.1109/ISESD.2016.7886750).
- [28] T. Adiono, and S. Fuada, “Investigation of Optical Interference Noise Characteristics in Visible Light Communication System,” *Unpublished*.
- [29] 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), July 2017.
- [30] 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).
- [31] 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).
- [32] T. Adiono, and S. Fuada, “Optical Interference Noise Filtering over Visible Light Communication System Utilizing Analog High-Pass Filter Circuit,” *Unpublished*.
- [33] 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.
- [34] S. Fuada, A.P. Putra, Y. Aska, and T. Adiono, “Short-range Audio Transfer through 3 Watt White LED based on LOS channels,” *Unpublished*.
- [35] S. Fuada, T. Adiono, A. P. Putra, and Y. Aska, “LED Driver Design for Indoor Lighting and Low-rate Data Transmission Purpose,” *Unpublished*.