

Simulasi Komunikasi Cahaya Tampak Berbasis Pemultipleksan Pembagian Panjang Gelombang pada Jaringan Fiber to the Home

Tubagus Muhammad Reza Handzalah ¹⁾, Denny Darlis ²⁾, Desti Madya Saputri ³⁾

^{1), 3)} Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

²⁾ Prodi D3 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom

Jl. Telekomunikasi no. 1 Bandung

Email : tbmreza@student.telkomuniversity.ac.id

Abstrak. Selain sebagai penerangan, lampu LED dapat dimanfaatkan untuk berkomunikasi. Sistem komunikasi yang menggunakan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi pada spektrum cahaya tampak dinamakan *Visible Light Communication (VLC)*. Penerapan konsep *wavelength division multiplexing* pada VLC dilakukan dengan menggunakan beberapa LED dengan frekuensi yang berbeda-beda untuk menyampaikan informasi melalui kanal udara bebas. *Fiber to the Home* merupakan jaringan akses dengan media transmisi serat optik yang berakhir pada perangkat *optical network terminal (ONT)* di rumah pelanggan. Perangkat penerima pelanggan terhubung ke Internet melalui gelombang Wi-Fi dari antena *access point*. Fungsi antena dapat digantikan dengan mengaplikasikan sistem VLC di rumah pelanggan. Penelitian ini merancang bagaimana mentransmisikan sinyal downlink dari FTTH dengan panjang gelombang 1490 nm melalui tiga panjang gelombang cahaya tampak merah, hijau, dan biru, masing-masing 630 nm, 525 nm, dan 460 nm. Penelitian ini menganalisis performansi dari setiap kanal cahaya tampak. Selain itu, penelitian ini juga menganalisis pengaruh jarak antara LED dengan *photodetector* terhadap performansi sistem VLC.

Kata kunci: *visible light communication, optical wireless communication, WDM VLC, Li-Fi.*

1. Pendahuluan

Penelitian di bidang komunikasi nirkabel saat ini sangat berkembang. *Visible Light Communication (VLC)* merupakan sebuah teknologi komunikasi yang menggunakan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi pada spektrum cahaya tampak untuk mengirimkan informasi. VLC menarik karena lampu LED dimanfaatkan tidak hanya sebagai penerangan, tetapi juga untuk berkomunikasi. Bahkan, VLC berpotensi menggantikan Wi-Fi untuk mengakses Internet (Li-Fi) [1].

Fiber to the Home (FTTH) adalah sebuah jaringan akses, yakni jaringan yang menghubungkan jaringan *core* dengan pelanggan. FTTH merupakan penerapan *Passive Optical Network* yang menyampaikan sinyal melalui serat optik dengan titik terminasi di rumah pelanggan. Jaringan FTTH berakhir di rumah pada perangkat *optical network terminal (ONT)*. Perangkat penerima pelanggan terhubung ke Internet melalui gelombang Wi-Fi dari antena *access point*. Fungsi antena dapat digantikan dengan mengaplikasikan sistem VLC di rumah pelanggan, yakni dengan instalasi pemasangan pengirim-penerima LED VLC setelah ONT dan *photodetector* di perangkat penerima pelanggan.

Topik mengenai integrasi sistem *Fiber to the Home (FTTH)* dengan VLC menarik untuk dianalisis. Riset sebelumnya di bidang VLC yang terbaru antara lain [2], [3], dan [4], masing-masing meneliti VLC untuk jaringan 5G, penerapan VLC pada komunikasi antar kendaraan, serta implementasi VLC berkecepatan dengan orde gigabit per detik. Penelitian ini membahas bagaimana sinyal optik dari sentral yang sampai ke rumah pelanggan ditransmisikan melalui frekuensi cahaya tampak menggunakan RGB LED dengan panjang gelombang masing-masing warna 630 nm, 525 nm, dan 460 nm.

1.1. Sistem Komunikasi Optik

Sistem komunikasi adalah sekumpulan elemen yang menyusun jaringan yang menyampaikan informasi dari pengirim ke penerima melalui kanal tertentu. Sistem komunikasi optik adalah sistem komunikasi yang menggunakan cahaya sebagai pembawa informasi. Berdasarkan sifat media transmisinya, sistem komunikasi optik dapat dibagi menjadi terpandu dan tidak terpandu.

Contoh dari sistem komunikasi optik terpandu adalah *Fiber to the Home*, di mana cahaya sebagai pembawa ditransmisikan melalui pandu gelombang optik berupa serat optik. Cahaya juga dapat ditransmisikan dengan tidak terpandu melalui udara bebas, misalnya pada *Visible Light Communication*.

1.2. Wavelength Division Multiplexing

Wavelength Division Multiplexing (WDM) adalah skema di mana panjang gelombang yang berbeda dimodulasi secara independen kemudian ditransmisikan melalui satu kanal. WDM lebih umum merujuk kepada penerapan konsep tersebut pada sistem komunikasi serat optik. Salah satu penerapan dari WDM adalah *Bidirectional Wave Division Multiplexing* (BWDM). BWDM menggunakan dua panjang gelombang cahaya, yakni misalnya 1490 nm dan 1310 nm [5] masing-masing untuk *downlink* dan *uplink*.

VLC merupakan konsep yang digunakan untuk *downlink* Li-Fi, yakni memanfaatkan LED sebagai penerangan dan juga pengirim informasi. Salah satu kriteria cahaya layak untuk penerangan adalah berwarna putih. Cahaya putih dapat dibuat dari kombinasi warna primer, yakni merah, hijau, dan biru pada RGB LED. Karena sifat aditif dari warna cahaya LED, *wavelength division multiplexing* dapat diterapkan untuk VLC [6].

1.3. Light Emitting Diode

Light Emitting Diode (LED) merupakan sebuah dioda yang mengeluarkan cahaya apabila diaktifkan. Saat LED diberikan tegangan, elektron yang berada di p-n *junction* melakukan rekombinasi dengan *hole*. Pertemuan tersebut menghasilkan energi dalam bentuk foton.

LED mengubah sinyal modulasi berupa arus listrik menjadi daya optik yang dihitung sebagai berikut.

$$P = \eta \cdot h \cdot f \cdot \frac{i(t)}{q} \quad (1)$$

di mana:

η = efisiensi kuantum

h = konstanta Planck

f = frekuensi

$i(t)$ = arus listrik

q = muatan elektron

1.4. Atenuasi Udara Bebas

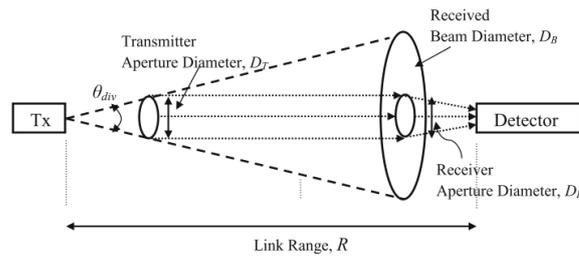
Pelemahan daya akibat udara bebas L_s dari jarak R dihitung sebagai berikut.

$$L_s = \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2 \quad (2)$$

Nilai L_s berbanding terbalik dengan panjang gelombang λ . Panjang gelombang yang digunakan dalam penelitian ini ialah panjang gelombang warna primer, yakni merah, hijau, dan biru. Nilai atenuasi untuk panjang gelombang yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

1.5. Rugi-rugi *Beam Divergence*

Saat berpropagasi di udara, cahaya mengalami penyebaran oleh sebab difraksi. Besarnya rugi-rugi akibat sudut penyebaran cahaya LED disebut rugi-rugi *beam divergence* [7].

Gambar 1. *Beam divergence* [7]

Oleh karena fenomena tersebut, penerima hanya dapat menerima seluas *field of view*, dengan daya sebesar $D_B - D_R$ tidak tersampaikan. Rugi-rugi geometris dalam desibel akibat *beam divergence* dihitung dengan persamaan berikut [7].

$$L_G = \left[\frac{D_R}{D_T + \theta_{div} R} \right] \quad (3)$$

1.6. Bit Error Rate

Pada perancangan sistem komunikasi optik, ditetapkan besaran *error rate* tertentu yang menjadi batas atas jaringan yang dirancang dinyatakan baik.

$$BER = Q(\sqrt{SNR}) \quad (4)$$

Dalam menganalisis performansi rancangan sistem komunikasi dikenal istilah BER sebelum *error correction*, BER_{pre} . Nilai yang digunakan dalam penelitian sistem komunikasi (khususnya VLC, misalnya pada [8] dan [9]) adalah $BER_{pre} < 3.8e-003$.

1.7. Eye Diagram

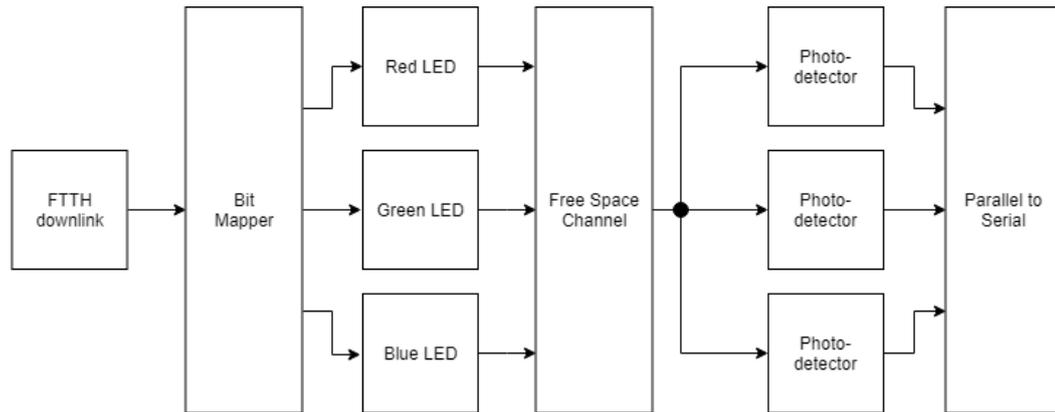
Eye diagram adalah sebuah metode analisis sinyal digital dengan menampilkan rata-rata statistik dari sinyal [10]. Dengan melakukan analisis parameter *eye diagram*, performansi sistem komunikasi dapat dinilai kelayakannya. Parameter tersebut antara lain *Max. Q Factor*, *Min. BER*, *Eye Height*, dan *Threshold* yang masing-masing adalah nilai faktor kualitas maksimum, nilai *bit error rate* minimum, tinggi bentuk mata maksimum, serta nilai *threshold* pada decision instant saat *bit error rate* minimum dalam sebuah *eye time window*.

2. Pembahasan

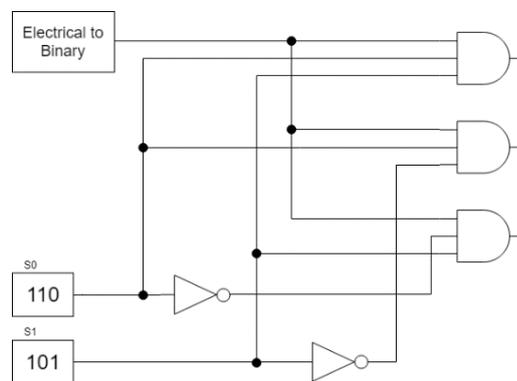
Pada VLC, penerapan konsep WDM dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa LED dengan warna berbeda, misalnya, RGB LED. Dengan *switching rate* VLC yang tinggi, penggunaan LED berwarna merah, hijau, dan biru dapat menghasilkan warna putih yang periode di mana lampu mati tidak kasat mata. Dengan demikian, LED juga berfungsi untuk komunikasi selain sebagai penerangan.

2.1. Konfigurasi Eksperimen

Gambar 2 merupakan blok diagram dari sistem FTTH-VLC. Blok FTTH *downlink* terdiri dari perangkat *passive optical network*, seperti serat optik dan *power splitter* optik, dan dengan parameter pada Tabel 1. Parameter VLC dimuat pada Tabel 2.



Gambar 2. Blok diagram keseluruhan FTTH-VLC



Gambar 3. Rangkaian Bit Mapper

Tabel 1. Parameter Fiber to the Home downlink

No	Parameter	Nilai
1	Bit rate	155 Mbps
2	Panjang gelombang	1490 nm
3	Line coding	Return to zero

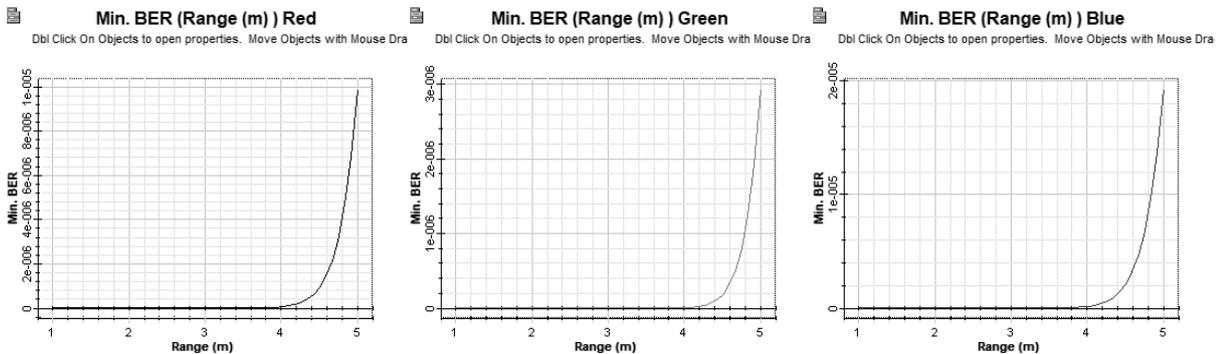
Parameter berikut mengacu pada *datasheet* LED dan *photodetector*. Nilai atenuasi udara bebas didapat dari perhitungan Persamaan 2 dengan panjang gelombang merah, hijau, dan biru.

Tabel 2. Parameter VLC pada Panjang Gelombang Merah, Hijau, dan Biru

No	Parameter	Merah	Hijau	Biru
1	Panjang gelombang LED	630 nm	525 nm	460 nm
2	Efisiensi kuantum LED	0,85	0,87	0,85
3	Beam divergence LED	45 derajat	45 derajat	45 derajat
4	Atenuasi udara bebas	205,99 dB/km	207,58 dB/km	208,72 dB/km
5	Responsivitas photodetector	0,45 A/W	0,37 A/W	0,31 A/W

2.2. Hasil

Hubungan antara jarak (LED ke *photodetector*) dengan *bit error rate* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. Grafik BER Minimum terhadap Jarak

Berikut adalah performansi setiap panjang gelombang VLC untuk jarak 5 meter.

Tabel 3. Parameter Performansi VLC untuk Panjang Gelombang Merah, Hijau, dan Biru

No	Parameter	Merah	Hijau	Biru
1	<i>Max. Q Factor</i>	4.10811	4.40608	3.97314
2	<i>Min. BER</i>	9.85321e-006	2.92299e-006	1.92261e-005
3	<i>Eye Height</i>	5.07829e-007	5.91301e-007	4.38335e-007
4	<i>Threshold</i>	7.54154e-007	7.49819e-007	7.53338e-007
5	<i>Decision Instant</i>	0.284211	0.394737	0.378947

3. Kesimpulan

Berikut adalah beberapa kesimpulan dari penelitian ini.

1. Sinyal *downlink Fiber to the Home* dapat ditransmisikan melalui tiga frekuensi cahaya tampak yang berbeda.
2. Setiap kanal cahaya tampak memiliki nilai performansi yang berbeda, misalnya BER minimum panjang gelombang merah sebesar 9.85321e-006, hijau sebesar 2.92299e-006, dan biru sebesar 1.92261e-005.
3. Performansi *bit error rate* sistem FTTH-VLC diraih sebesar 3.20023e-005, yakni penjumlahan *bit error rate* ketiga frekuensi cahaya tampak yang digunakan. Nilai tersebut kurang dari 3.8e-003, sehingga perancangan pada penelitian ini dapat dikatakan layak.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan asisten riset Laboratorium Sistem Komunikasi Optik Universitas Telkom yang telah mendukung publikasi dari penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1]. H. Haas dan C. Chen, "What is Li-Fi?," *J. Light. Technol.*, vol. PP, no. 99, hal. 3–5, 2015.
- [2]. G. Nagarajan dan P. M. Kannan, "Visible Light Communication for Advanced Wireless 5G Light-Fidelity Networks," in *Advanced Wireless Sensing Techniques for 5G Networks*, Chapman and Hall/CRC, 2018, hal. 285–300.
- [3]. A. Memedi, C. Sommer, dan F. Dressler, "On the need for coordinated access control for vehicular visible light communication," in *Wireless On-demand Network Systems and Services*

- (WONS), 2018 14th Annual Conference on, 2018, hal. 121–124.
- [4]. C. Lee et al., “Gigabit-per-second white light-based visible light communication using near-ultraviolet laser diode and red-, green-, and blue-emitting phosphors,” *Opt. Express*, vol. 25, no. 15, hal. 17480–17487, 2017.
 - [5]. B. Zhu et al., “Seven-core multicore fiber transmissions for passive optical network,” *Opt. Express*, vol. 18, no. 11, hal. 11117–11122, 2010.
 - [6]. Z. Ghassemlooy, W. Popoola, dan S. Rajbhandari, *Optical wireless communications: system and channel modelling with Matlab®*. CRC press, 2012.
 - [7]. H. Kaushal, V. K. Jain, dan S. Kar, *Free space optical communication*. Springer, 2017.
 - [8]. A. K. Jangir, B. D. Manharbhai, dan R. K. Maddila, “WDM-Based Visible Light Communication System,” in *Optical and Wireless Technologies*, Springer, 2018, hal. 211–217.
 - [9]. Y. Wang, L. Tao, Y. Wang, dan N. Chi, “High speed WDM VLC system based on multi-band CAP64 with weighted pre-equalization and modified CMMA based post-equalization,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 18, no. 10, hal. 1719–1722, 2014.
 - [10]. ON Semiconductor, “Understanding data eye diagram methodology for analyzing high speed digital signals,” *Appl. Note*. [Online], 2014.