

DAFTAR SINGKATAN

VLC	: <i>Visible Light Communication</i>
LED	: <i>Light Emitting Diode</i>
ACO	: <i>Asymmetrically Clipped Optical</i>
DCO	: <i>DC-biased Optical</i>
OFDM	: <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
OWC	: <i>Optical Wireless Communication</i>
IM/DD	: <i>Intensity Modulated and Direct Detection</i>
IFFT	: <i>Inverse Fast Fourier Transform</i>
FFT	: <i>Fast Fourier Transform</i>
QAM	: <i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
BPSK	: <i>Binary Phase Shift Keying</i>
QPSK	: <i>Quadrature Phase Shift Keyings</i>
BER	: <i>Bit Error Rate</i>
SNR	: <i>Signal to Noise Ratio</i>
FWHM	: <i>Full Width Half Maximum</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini kebutuhan masyarakat akan pengiriman informasi dengan kecepatan tinggi semakin meningkat, untuk melayani kebutuhan itu teknologi nirkabel pun semakin banyak dikembangkan. Namun dari berbagai teknologi nirkabel yang sudah ada, gelombang radio masih menjadi pilihan utama untuk digunakan sebagai gelombang pembawa sinyal informasi. Hal ini tidak berbanding lurus dengan ketersediaan spektrum frekuensi yang ada, mengingat frekuensi merupakan sumber daya yang sangatlah terbatas. Di Indonesia sendiri penggunaan frekuensi radio sudah sangatlah padat. Oleh karena itu, untuk mengatasi kebutuhan masyarakat diperlukan metode baru untuk memenuhi permintaan yang semakin meningkat, dimana teknologi ini mendukung pengiriman informasi secara nirkabel dengan laju *bit rate* yang tinggi.

Salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk melayani kebutuhan data tersebut adalah dengan komunikasi menggunakan cahaya tampak, *visible light communication* (VLC) merupakan salah satu pengembangan dari teknologi *optical wireless communication* (OWC) yang dimana informasi dikirimkan secara nirkabel dengan memanfaatkan cahaya tampak untuk penerangan sebagai sinyal pembawanya. Disatu sisi perkembangan dan penggunaan akan lampu *light emitting diode* (LED) juga semakin meningkat terutama untuk kebutuhan penerangan menggantikan lampu konvensional seperti lampu pijar dan lampu neon [1]. Hal ini dapat terlihat dengan penggunaan lampu LED di berbagai tempat seperti rumah, gedung-gedung perkantoran dan tempat umum lainnya. LED merupakan bahan semikonduktor yang berfungsi untuk mengubah arus listrik menjadi cahaya, LED dianggap sesuai dengan kebutuhan saat ini karena lebih menghemat listrik, tidak menimbulkan panas serta rentan waktu penggunaan yang lebih lama. Sehingga pada masa yang akan datang LED ini diperkirakan akan mendominasi penggunaan lampu untuk penerangan diberbagai tempat. Dalam komunikasi optik nirkabel intensitas sinyal tidak bisa bersifat bipolar dan bernilai kompleks, karena pada sistem *wireless* optik menggunakan intensitas modulasi dan deteksi langsung atau

yang biasa dikenal dengan IM/DD. Sinyal dimodulasi oleh frekuensi optik *carrier* yang mengharuskan bernilai real dan positif (unipolar) karena sifat intensitas cahaya tidak bisa negatif. Oleh karena itu, terdapat beberapa model yang dikembangkan untuk modulasi OFDM pada komunikasi optik nirkabel. Diantaranya adalah *DC biased Optical* (DCO) OFDM, *Asymmetrically Clipped Optical* (ACO) OFDM, Flip OFDM dan *Unipolar* (U) OFDM. Beberapa metode ini memiliki teknik masing-masing yang bertujuan untuk membuat sinyal keluaran OFDM bernilai positif.

Dalam tugas akhir ini, dirancang sebuah model sistem komunikasi nirkabel berbasis VLC dengan menggunakan ACO OFDM sebagai teknik modulasi nya. Dari perancangan tersebut akan disimulasikan model sistem komunikasi dengan menggunakan beberapa skenario dan mengevaluasi perfomansi dari beberapa parameter yang ada seperti *signal to noise ratio* (SNR) dan *bit error rate* (BER).

1.2 Tujuan

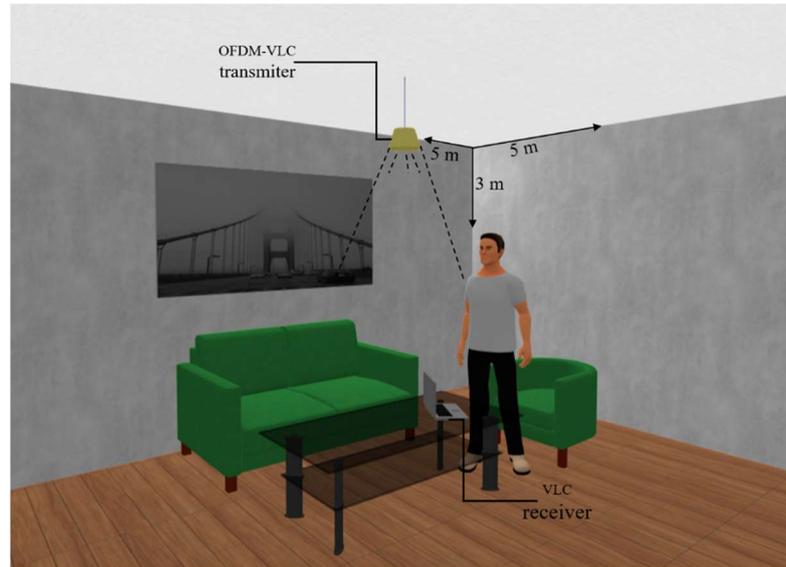
Tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Merancang suatu sistem ACO OFDM untuk komunikasi cahaya tampak menggunakan pendekatan perangkat lunak
2. Menganalisis perfomansi ACO OFDM pada sistem komunikasi cahaya tampak dengan membandingkan paramater-parameter terkait seperti SNR dan BER.
3. Melakukan pemodelan sistem untuk komunikasi cahaya tampak dengan skema yang ditentukan.

1.3 Rumusan Masalah

Dalam sistem *wireless* radio frekuensi, OFDM biasa menggunakan sinyal kompleks *baseband* (bipolar) untuk memodulasi amplitue dan fasa pada frekuensi *carrier* radio. Berbeda pada sistem *wireless* optik yang menggunakan *intensity modulated direct detection* (IMD/DD). Sinyal dimodulasi pada frekuensi *carrier*

optik yang mengharuskan sinyal bernilai *real* dan positif (unipolar). Pemodelan sederhana sistem komunikasi cahaya tampak dapat terlihat pada gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Model sistem VLC

Pada komunikasi *wireless* optik sinyal dapat dibuat positif dengan menambahkan arus DC pada DCO OFDM dengan menaikkan amplitude sinyal-nya, sedangkan pada *U* OFDM sinyal diubah dengan meng-*encoding* menjadi sepasang sampel sinyal baru (aktif dan tidak aktif) dalam domain waktu dan pada ACO OFDM dengan memotong sinyal negatif pada sumbu 0 (menghilangkan sinyal pada amplitude ≤ 0).

1.4 Batasan Masalah

Ruang lingkup pengerjaan tugas akhir ini adalah :

1. Sistem komunikasi dirancang satu arah (*half duplex*)
2. Simulasi sistem VLC dimodelkan di dalam ruangan dengan kondisi ruangan ideal tanpa ada sumber cahaya lain / interferensi.
3. Simulasi dilakukan pada ruangan dengan berukuran 5x5x3 meter dengan asumsi kanal bersifat *line of sight* (LOS).
4. Simulasi dilakukan pada perangkat lunak Matlab R2018a.

1.5 Metode Penelitian

Metode pada penelitian Tugas Akhir ini terdiri dari beberapa tahapan seperti berikut :

1. Studi Literatur

Bertujuan untuk mempelajari dasar teori dan literatur terkait dengan mengumpulkan referensi berupa jurnal, paper dan buku serta sumber lain yang berhubungan dengan Tugas Akhir ini termasuk diskusi dengan para dosen pembimbing.

2. Perancangan Simulasi Sistem

Bertujuan untuk mengolah parameter-parameter yang telah didapatkan dari literatur ke dalam bentuk pemodelan sistem dengan menggunakan pendekatan perangkat lunak

3. Analis Hasil Simulasi

Bertujuan untuk menganalisa kinerja yang didapatkan dari pengujian sistem. Analisa dilakukan dengan merujuk pada sumber referensi yang ada dengan membandingkan parameter terkait

4. Penulisan Laporan

Bertujuan untuk menyampaikan hasil penelitian yang didapat, bagian ini menjelaskan tentang kesimpulan dari analisis pada simulasi sistem yang telah dilakukan

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini untuk selanjutnya dibagi dalam beberapa bab sebagai berikut :

- **BAB II DASAR TEORI**

Bab ini berisi tentang teori penunjang dari pokok bahasan penelitian, seperti konsep dan cara kerja VLC, karakteristik ACO OFDM dan uraian lain yang berhubungan dengan sistem yang akan disimulasikan.

- **BAB III PERENCANAAN DAN SIMULASI**

Bab ini berisi tahapan-tahapan yang dilakukan selama penelitian berlangsung, perancangan simulasi sistem ACO OFDM berbasis VLC, serta

berisi tentang skema penelitian dengan parameter-parameter pendukung simulasi.

- **BAB IV ANALISIS PERFORMANSI SISTEM**

Bab ini berisi pembahasan kinerja ACO OFDM yang didapatkan dari hasil simulasi sistem. Pada bab ini disertakan gambar dan grafik yang bertujuan untuk mendukung analisa sistem. Analisis di dasarkan dengan melihat parameter-parameter yang berpengaruh pada kinerja sistem.

- **BAB V PENUTUP**

Bab ini berisi kesimpulan dan saran bagi tugas akhir ini untuk selanjutnya dapat dilakukan pengembangan.

BAB II

DASAR TEORI

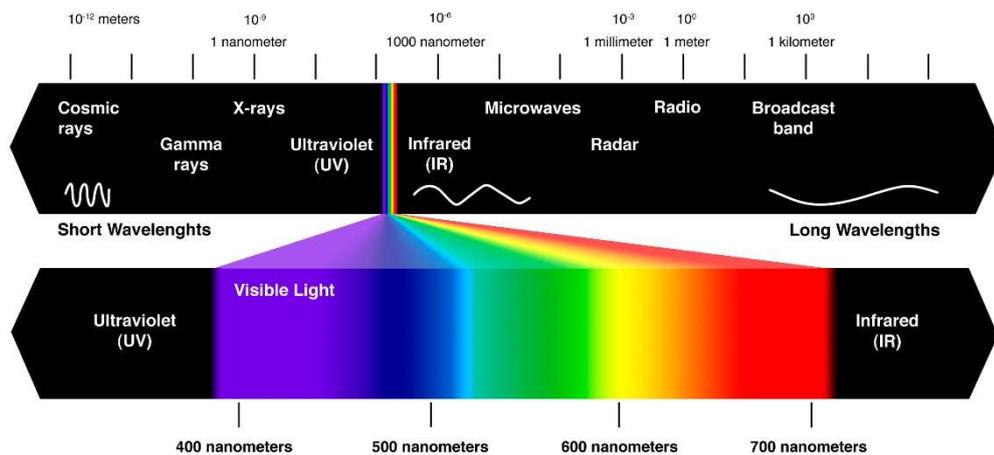
Bab ini membahas dasar teori untuk mendukung perancangan dan simulasi pada bab selanjutnya, meliputi Sistem Komunikasi Optik, *Visible Light Communication* dan teknik ACO OFDM.

2.1 Sistem Komunikasi Optik

Sistem komunikasi optik merupakan sekumpulan elemen yang saling berkerja sama untuk mengirimkan informasi dengan menggunakan cahaya sebagai sinyal pembawanya (*carrier*). Sinyal pembawa berupa cahaya merupakan inovasi yang digunakan untuk mengirimkan berbagai jenis informasi dalam data *rate* yang tinggi. Secara garis besar, sistem komunikasi dibedakan berdasarkan media perambatannya yaitu, *guided media* dan *unguided media*. Media transmisi *guided* adalah media yang mentransmisikan gelombang elektromagnetik dengan menggunakan konduktor fisik, contoh sistem komunikasi cahaya jenis *guided* adalah pada penggunaan kabel serat optik sebagai media transmisi, dimana informasi ditumpangkan dalam cahaya yang merambat dalam serat berbahan gelas tipis. Sedangkan media transmisi *unguided* adalah media yang mentransmisikan gelombang elektromagnetik dengan udara sebagai medianya. Sistem komunikasi optik yang menggunakan udara sebagai media transmisinya kemudian disebut *Optical Wireless Communication* (OWC). Contoh dari penerapan OWC ini adalah *Free Space Optic* (FSO), *Light-Fidelity* (Li-Fi) dan *Visible Light Communication* (VLC). Karena sama-sama menggunakan cahaya sebagai sinyal pembawa dan media perambatannya berupa udara maka berbagai keunggulan dan kelemahan dari sistem OWC ini pun tersedia. Keunggulan yang dimiliki dari sistem ini diantaranya tingkat keamanan yang tinggi, kecepatan pengiriman yang tinggi dan ketersediaan spektrum frekuensi yang lebar. Sedangkan kelemahan yang dimiliki dari sistem ini adalah keterbatasan jarak pengiriman karena harus memenuhi syarat *Line of Sight* (LOS) serta adanya kemungkinan *noise* karena interferensi dari cahaya lain.

2.2 Visible Light Communication (VLC) [2]

Visible Light Communication (komunikasi cahaya tampak) adalah sebuah sistem komunikasi yang memanfaatkan cahaya tampak sebagai sinyal pembawanya dengan udara bebas sebagai media transmisinya. Cahaya tampak sendiri merupakan cahaya yang dapat terlihat secara kasat mata, seperti yang terlihat pada gambar 2.1 cahaya tampak memiliki panjang gelombang yang berkisar pada 400-700 nm atau memiliki rentang frekuensi 420 – 750 THz [2]. Perbedaan mendasar yang membedakan antara VLC dan *infrared* (IR) serta komunikasi RF adalah dari spektrum panjang gelombang yang digunakan untuk operasinya. Pada tabel 2.1 dapat terlihat perbedaan antara sistem komunikasi menggunakan cahaya tampak dengan menggunakan sistem komunikasi lainnya.



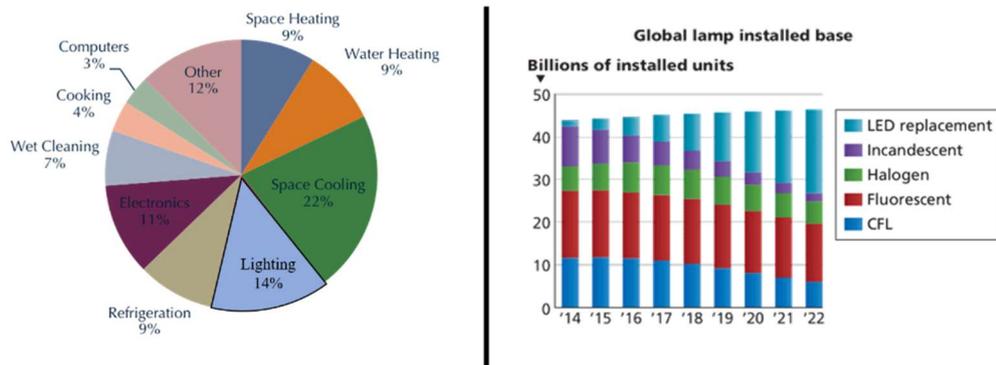
Gambar 2. 1 Spektrum Cahaya [3]

Berdasarkan jenis perambatannya, konfigurasi kanal pada VLC ini dibedakan menjadi empat jenis, yaitu *Line of Sight* (LOS) langsung, LOS tak langsung, *non-LOS* langsung dan *non-LOS* tidak langsung. Keempat jenis perambatan ini dibedakan berdasarkan ada atau tidaknya penghalang diantara *link* pengirim dan penerima, serta dari arah pancar dan tangkap pada pengirim serta penerima yang saling berhadapan atau tidak.

Tabel 2. 1 Perbedaan VLC dan komunikasi IR, RF [4]

Jenis	VLC	Infrared	RF
<i>Bandwidth</i>	Spektrum lebar, 400 – 700 nm	Spektrum lebar, 800- 1600 nm	Regulasi dan terbatas
EM interferensi	Tidak	Tidak	Ya
<i>Line Of Sight</i>	Ya	Ya	Tidak harus
Cakupan	Sempit dan lebar	Sempit dan lebar	Kebanyakan lebar
Layanan	Penerangan + komunikasi	Komunikasi	Komunikasi
Konsumsi Daya	Relatif rendah	Relatif rendah	Medium
Mobilitas	Terbatas	Terbatas	Baik

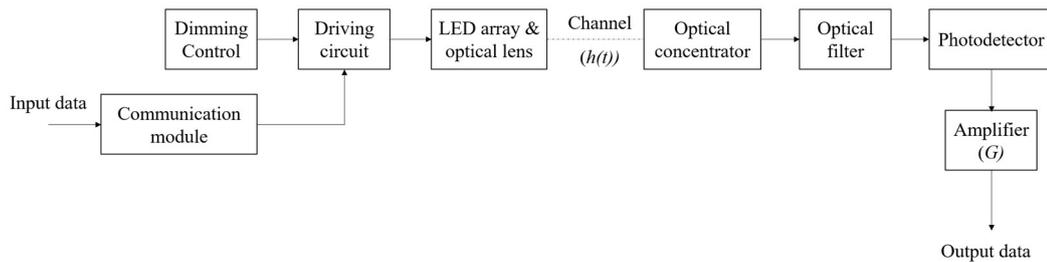
Penggunaan cahaya tampak sebagai media transmisi komunikasi memberikan beberapa keunggulan, diantaranya memiliki tingkat keamanan yang tinggi, tidak berbahaya bagi kesehatan karena tidak menimbulkan radiasi dan ketersediaan spektrum frekuensi yang masih luas untuk digunakan karena bebas dari regulasi. Selain itu, penggunaan lampu LED yang semakin banyak digunakan oleh masyarakat juga bisa menjadi faktor pendorong untuk peng-efisienan penggunaan lampu LED, yang tidak hanya digunakan sebagai penerangan tetapi dapat dimanfaatkan juga untuk media pengiriman informasi secara nirkabel. Dibalik beberapa keunggulan itu, komunikasi cahaya tampak juga mempunyai kekurangan, diantaranya cahaya yang terpancar dari LED memiliki jarak cakupan yang terbatas dan interferensi dari cahaya lain juga menjadi tantangan dalam peng-implemantasian teknologi ini. Pada gambar 2.2 dapat terlihat grafik penggunaan lampu LED.



Gambar 2. 2 Penggunaan lampu LED [1].

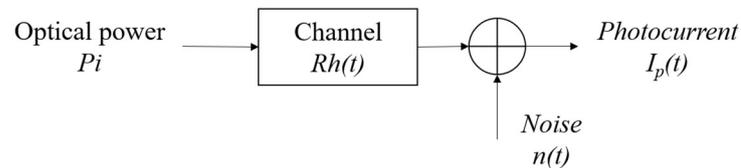
2.2.1 Sistem Model VLC

Pada *visible light communication* LED ditujukan sebagai penerangan juga komunikasi, maka perlu untuk menentukan intensitas cahaya dan daya optik yang ditransmisikan, dengan intensitas digunakan untuk menunjukkan daya total pancaran. Blok diagram VLC dapat terlihat pada gambar 2.3, pada LED tingkat peredupan (*dimming*) dapat teratasi karena tingkat waktu respons LED selama beroperasi sangatlah singkat (orde ns). Hal itu yang membuat ketika *driving circuit* memodulasi sebuah informasi pada domain frekuensi tinggi kita sebagai manusia tidak dapat melihat operasi *on-off* tersebut yang terjadi pada cahaya yang dipancarkan oleh LED.



Gambar 2. 3 Blok diagram sistem VLC [4].

Pada VLC, kanal cahaya tampak dapat dimodelkan sebagai linear *additive white Gaussian noise* (AWGN) dengan persamaan (2.1) dan pemodelan dapat terlihat pada gambar 2.4.

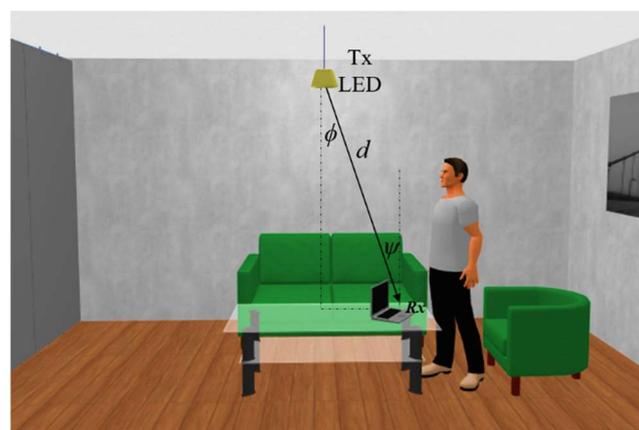


Gambar 2. 4 VLC kanal model dengan IM/DD

$$Y(t) = \gamma X(t) * h(t) + N(t) \quad (2.1)$$

Dimana γ adalah responsivitas photodetector (A/W), $h(t)$ merupakan respon impuls kanal optik , $N(t)$ merepresentasikan AWGN dan $*$ menunjukkan konvolusi. Dengan kanal yang digunakan dianggap sebagai *line of sight* (LOS).

Pada gambar 2.5 dapat terlihat pemodelan sederhana dari sistem VLC dengan model kanal *LOS* tidak langsung untuk aplikasi dalam ruangan, dimana perangkat *transmitter* terletak pada atap dan perangkat penerima berada diatas meja. Diasumsikan bahwa pencahayaan LED terdistribusi secara lambertian, dengan intensitas radiasi pada permukaan didefinisikan sebagai (2.4) .



Gambar 2. 5 Pemodelan sederhana VLC.

Orde emisi Lambertian didefinisikan seperti (2.2), dimana saat sudut transmisi berada pada keadaan *half power* $\phi_{1/2}$.

$$m_1 = \frac{\ln(2)}{\ln(\cos \phi_{1/2})} \quad (2.2)$$

Dari gambar 2.4 dapat kita tentukan bahwa nilai $\phi = \psi$, sedangkan untuk intensitas cahaya pada titik pusat dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$I(\phi) = I(0) \cos^{m_1}(\phi) \quad (2.3)$$

$I(0)$: intensitas cahaya pada titik pusat

m_1 : adalah orde emisi dari Lambertian

ϕ : Sudut radiasi terhadap garis normal pada permukaan transmisi,

Berdasarkan [4] penerangan / intensitas suatu cahaya pada titik (x,y) dan daya yang diterima pada *receiver* didefinisikan sebagai:

$$P_r = P_t \cdot \frac{(m_1 + 1)}{2\pi d^2} \cos^{m_1}(\phi) \cdot T_s(\psi) \cdot g(\psi) \cdot \cos(\psi), \quad 0 \leq \psi \leq \psi_{con} \quad (2.4)$$

Dimana

P_t : Daya kirim LED

ψ : Sudut cahaya datang terhadap garis normal permukaan penerima

d : Jarak antara LED dan photodetektor

$T_s(\psi)$: Filter transmisi

$g(\psi)$: Gain konsentrator [5]

ψ_{con} : *Field of view* (FOV) konsentrator

Dalam hal daya responsivitas *photodetector* , SNR elektrik dapat diekspresikan sebagai berikut dengan daya terima optik dan variansi *noise* sebagai :

$$SNR = \frac{(RP_r)^2}{\sigma_{shot}^2 + \sigma_{therm}^2} \quad (2.5)$$

$$\sigma_{shot}^2 = 2qRP_rB + 2qI_B I_2 B \quad (2.6)$$

Dimana

R : Responsivitas *photodetector*

q : muatan elektron

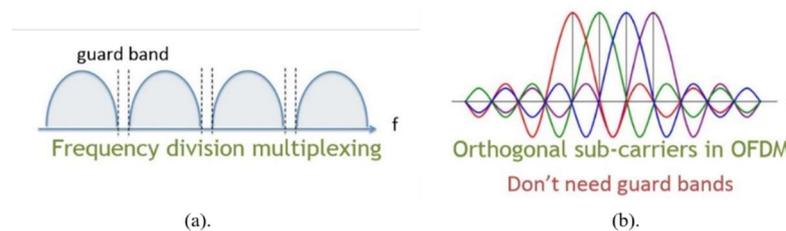
I_2 : faktor *noise bandwidth*

B : *noise bandwidth*

I_B : arus *photocurrent*

2.3 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

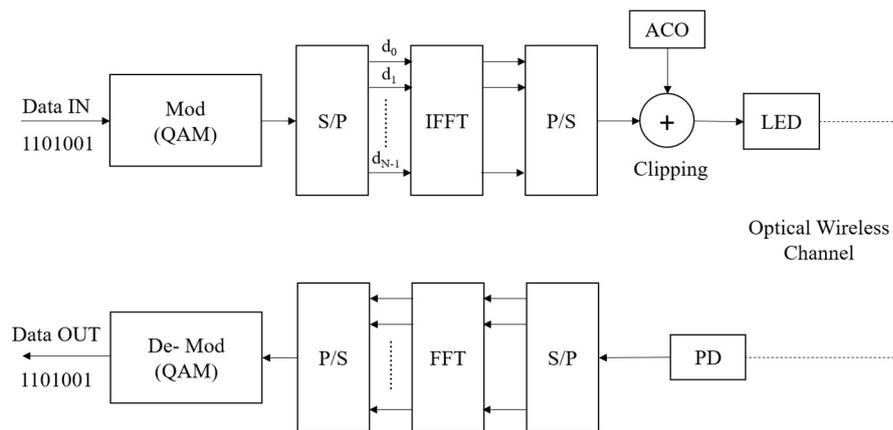
OFDM adalah teknik transmisi *multi-carrier* digital yang mendistribusikan secara digital simbol yang dikodekan pada beberapa frekuensi sub-*carrier* dengan maksud mereduksi laju waktu simbol agar mencapai kehandalan melawan pantulan panjang dalam kanal radio lintasan jamak, bahkan bila spektral sub-*carrier* saling tumpang tindih, informasi secara sempurna dapat diterima tanpa interferensi antar sub-*carrier* sehingga secara keseluruhan (dalam satu simbol) dapat digunakan lebar pita yang lebih kecil. Pada gambar 2.6 dapat terlihat perbandingan bentuk sinyal pada OFDM. Selain itu, OFDM merupakan salah satu teknik terbaik dalam mentransmisi sinyal, teknik ini mengandung unsur keamanan tinggi dengan memanfaatkan sifat ortogonalitas sinyal. [5]



Gambar 2. 6 FDMA (a). dan OFDM (b). sinyal pada domain frekuensi [2].

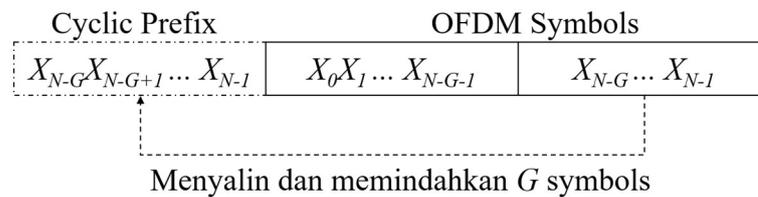
OFDM banyak digunakan pada sistem komunikasi *broadband* dan *wireless communication* karena ketahannya terhadap interferensi antar simbol (ISI). OFDM juga merupakan teknik modulasi yang baik untuk sistem komunikasi optik, OFDM memiliki penggunaan daya yang lebih efisien dibanding skema teknik modulasi konvensional seperti *on-off-keying* (OOK) [6]. Dalam penerapannya, OFDM mentransmisikan sinyal yang bersifat polar dan kompleks, tetapi sinyal

bipolar tidak bisa ditransmisikan dalam intensitas modulasi pada komunikasi *wireless* optik, karena intensitas cahaya tidak bisa negatif. Ada beberapa metode yang digunakan untuk menciptakan sinyal keluaran pada OFDM, diantaranya *asymmetrically clipped optical (ACO) OFDM*, *DC biased optical (DCO) OFDM* dan metode lainnya [7]. Skema blok OFDM pada *wireless* optik dapat terlihat pada gambar 2.7



Gambar 2. 7 Blok diagram ACO OFDM [8].

Untuk mengurangi efek *multipath* yang diinduksi interferensi antar symbol (ISI), OFDM symbol dilindungi oleh *guard interval* atau *cycli prefiks (CP)*. Pada gambar 2.8 dapat terlihat mekanisme yang digunakan OFDM untuk melindungi symbol dari ISI dengan menambahkan cyclic prefix. Cyclic prefiks diambil dengan menyalinkan simbol OFDM ter-belakang lalu memindahkannya ke posisi depan sepanjang G [8].



Gambar 2. 8 Struktur symbol OFDM dengan Cyclic prefiks.

3.3.1 M-Quadrature Amplitude Modulation [9]

Quadrature Amplitudie Modulation adalah suatu teknik pentransmisian pada laju bit-bit yang lebih tinggi pada kanal dengan *bandwidth* yang terbatas. Sinyal QAM mempergunakan dua pembawa kuadratur $\cos 2\pi f_c t$ dan $\sin 2\pi f_c t$,

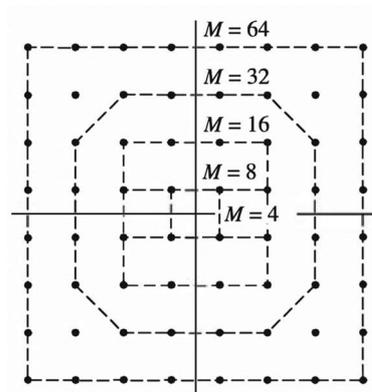
masing-masing dimodulasikan oleh bit informasi. Bentuk gelombang sinyal yang ditransmisikan memiliki persamaan pada 2.7.

$$u_m(t) = A_c m_1(t) \cos 2\pi f_c t + A_c m_2(t) \sin 2\pi f_c t \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (2.7)$$

Sinyal ditransmisikan pada frekuensi carrier yang sama dengan memakai dua pembawa kuadratur A_c , $m_1(t)$ dan $m_2(t)$ diandaikan dua sinyal informasi terpisah yang ditransmisikan melalui kanal. Amplitudo sinyal $m_1(t)$ memodulasi pembawa $A_c \cos 2\pi f_c t$ dan sebaliknya, dua sinyal dijumlahkan dan ditransmisikan melalui kanal sehingga sinyal yang ditransmisikan berupa persamaan 2.5. Umumnya, QAM dapat dilihat sebagai bentuk gabungan dari amplitudo digital dan modulasi fasa, bentuk gelombang sinyal QAM yang ditransmisikan diekspresikan sebagai:

$$u_{mn}(t) = A_m gT(t) \cos (2\pi f_c t + \theta_n), \quad m=1, 2, \dots, M_1 \quad n=1, 2, \dots, M_2 \quad (2.8)$$

Bentuk konstelasi pada sinyal QAM dapat terlihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Rectangular QAM sinyal konstelasi.

3.3.2 Inverse / Fast Fourier Transform

Inverse Fast Fourier Transform (IFFT) adalah invers atau kebalikan dari Fast Fourier Transform (FFT). IFFT ini merupakan algoritma yang dilakukan untuk mengkonversi deret dalam domain frekuensi ke domain waktu. Skema komunikasi menggunakan FFT secara umum adalah sistem menghasilkan sinyal hasil *multiplexing* frekuensi dengan memainkan *spectrum* frekuensinya. Hal ini