

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Farooq Aftab, Muhammad Nafees Ulfat khan, dan Shahzad Ali [3] pada tahun 2016 menganalisis sistem komunikasi *light fidelity* (Li-Fi) berbasis *indoor* di mana desain sistem komunikasi Li-Fi dengan cakupan di dalam ruangan ini menggunakan tipe LED Panel atau LP menggunakan *Fixed LP*, *Moveable LP*, dan *Hybrid LP*. Perhitungan *Line of Sight* (LOS) antara pemancar dan penerima dapat ditunjukkan pada SNR yaitu pada saat sudut penyinaran di bawah 70° maka hasil BER yang dihasilkan nilainya akan bagus, saat nilai sudut penyinaran diatas 70° maka nilai BER yang didapatkan semakin kecil dengan nilai sudut datang tiap percobaan sama yaitu 45° . Pada *fixed LP* dapat mencapai tingkat data yang lebih tinggi, aman, dan cepat karena area jangkauan yang dibentuk oleh LED tidak memiliki sudut. Pada *moveable LP* praktis dalam pengaplikasiannya karena dapat menyesuaikan sudut transmisi LED dan pada *hybrid LP* dapat mengakomodasi lebih banyak pengguna dan juga efisien dengan tanpa adanya tumpang tindih pada area cakupan karena berdekatan. Pemilihan jenis LED Panel dapat diterapkan sesuai dengan area cakupan ruangan yang akan diimplementasikan. Pengimplementasian jenis LED Panel ditunjukkan dengan nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) sesuai dengan sudut yang di dapatkan pada jenis LED Panel.

Penelitian oleh Thai-Chien Bui, Suwit Kiravittaya, Keattisak Sripimanwat, dan Nam-Hoang [4] pada tahun 2016 mengenai konfigurasi pencahayaan di dalam ruangan menggunakan sistem komunikasi cahaya tampak (VLC). Faktor seperti daya yang diterima, skenario mobilitas, proses perpindahan perangkat saat penggunaan (*switching*), dan hasil SNR menjadi fokus dalam penelitian ini. Konektivitas penuh dalam skenario mobilitas diperlukan untuk membuat sistem lebih praktis, namun selain faktor diatas, peneliti menyoroti pentingnya pengaruh bidang pandang pada kinerja konektivitas. Pada penggunaan FOV 48° di jarak 2,5 meter, daya yang diterima ialah 2,8 dBm dan SNR rata-rata 31 dB. Meningkatnya FOV memberikan daya dan SNR yang diterima semakin turun. Hal ini disebabkan saat nilai FOV semakin besar maka *gain* dari konsentrator optik meningkat,

sehingga sensitivitas pada *photodetector* berkurang. Selain itu, jarak maksimum antar dua LED akan mempengaruhi proses *switching* di mana saat histeresis margin H meningkat, maka jarak tumpang tindih juga harus ditingkatkan.

Penelitian oleh Farooq Aftab [5] pada tahun 2016 menganalisis potensial dan tantangan Li-Fi berdasarkan komunikasi di dalam ruangan di mana menggunakan *Hybrid Wi-Fi* dan Li-Fi network. Potensi utama dari jaringan berbasis Li-Fi ini dapat mengakomodasi banyak pengguna jaringan simultan. Modulasi yang digunakan ialah *Optical Space Division Multiple Access (SDMA)* yang memiliki keunggulan yaitu dapat memancarkan ke beragam sudut yang secara bersamaan dapat melayani beberapa pengguna aktif pada posisi yang berbeda. Setiap tempat pencahayaan dalam ruangan dapat bertindak sebagai titik *access point (AP)*, saat jarak antara AP kecil maka dapat mempengaruhi LOS. Jaringan Li-Fi dapat mencapai throughput tinggi dengan mengarahkan sejumlah besar AP. Tantangan utama pada sistem komunikasi Li-Fi berupa LED dengan sistem *ON-OFF* yang berpengaruh saat LED dimatikan. Level peredupan bohlam LED dapat diatur sedemikian rupa sehingga laju data yang diinginkan dapat dicapai dengan mengatur intensitas cahaya. Suhu termal pada LED dapat meningkat karena variasi arus maupun sistem pengiriman cahaya yang efeknya dapat menyebabkan masalah serius jika ratusan LED dihubungkan lebih dekat satu sama lain dalam sistem pencahayaan dalam skala besar. Selain itu, penyesuaian sudut *field of view (FOV)* diperlukan untuk memaksimalkan respon saluran, efek *shadowing* dapat mempengaruhi LOS, dan interferensi dari sumber cahaya lainnya seperti matahari dan cahaya listrik lainnya dapat menjadi pengaruh terhadap komunikasi Li-Fi. Sistem Li-Fi disini menjadikan setiap bohlam LED bertindak sebagai hotspot nirkabel.

Jurnal dari Hema Patel [6] di tahun 2016 mendeskripsikan aplikasi dari teknologi Li-Fi bisa diterapkan pada area yang memungkinkan dicakup oleh LED. Li-Fi dapat menjadi alternatif dari teknologi yang tidak menggunakan spektrum radio dalam melakukan komunikasi, selain itu pada jangkauan data nirkabel dengan kepadatan tinggi di daerah yang relatif lebih kecil. Pengaplikasian Li-Fi dapat dilihat manfaatnya pada lingkungan perkotaan yang padat seperti koridor hotel, aula resepsi, bahkan pada lampu jalan di mana pengguna bisa mengakses internet

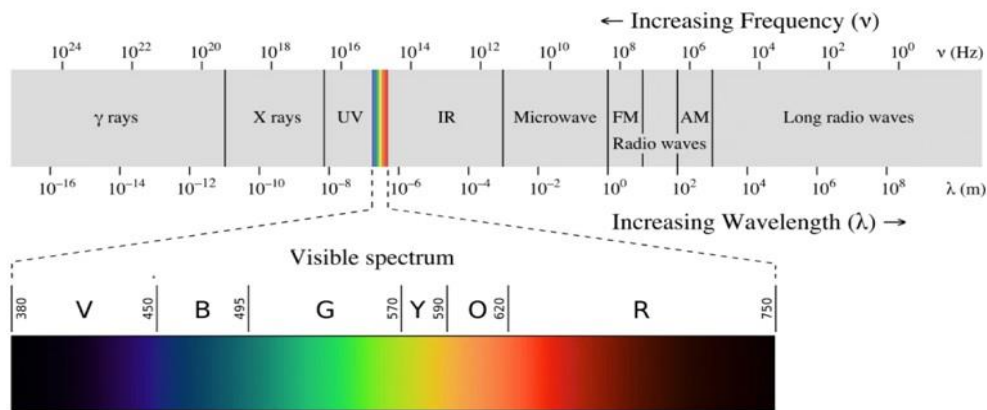
dengan *data rate* yang tinggi. Teknologi Li-Fi juga bisa digunakan di dalam kabin pesawat tanpa menghasilkan gangguan elektromagnetik. Penerapan Li-Fi ini memungkinkan penggunaan data dengan kecepatan tinggi dengan menjaga lingkungan bersih dan aman karena efisiensi penggunaan pada lampu LED.

Jurnal dari Joseph M. Kahn dan John R. Barry di tahun 1997 [7] yang menjadi referensi penggunaan rangkaian dan parameter nilai pada *Indoor Optical Wireless Link* di *software optisystem 16* yang digunakan pada penelitian ini. Sistem komunikasi dengan menggunakan infra merah menjadi komunikasi digital nirkabel jarak pendek yang bisa menutupi kekurangan pada komunikasi radio dan *microwave*. Terdapat tiga jenis proses transmisi dari komunikasi infrared yaitu *directed*, *nondirected*, dan *hybrid* pada desain LOS maupun NON-LOS. Tipe *directed* dapat memaksimalkan efisiensi daya karena meminimalkan *path loss* dan gangguan cahaya sekitar. Tipe *nondirected* sendiri bisa lebih mudah digunakan khususnya terminal seluler karena tidak harus fokus pada sudut pemancar, begitupun dengan tipe *hybrid* di mana sudut bidang pandang (FOV) pada penerima lebih luas cakupannya. Tantangan pada desain infra merah ini bagaimana mencapai SNR tinggi, oleh karena itu teknik modulasi berperan penting di mana pada jurnal ini menggunakan *on-off keying* (OOK), *pulse-position modulation* (PPM), dan modulasi *subcarrier*.

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 Pengertian Visible Light Communication

Visible Light Communication (VLC) adalah teknologi komunikasi yang memanfaatkan sumber cahaya dengan gelombang tampak sebagai *transmitter*, udara sebagai media transmisi, dan *photodetector* sebagai *receiver*. Hal ini diakibatkan sejak LED menjadi fungsi komunikasi dan iluminasi secara bersamaan. LED dipercaya dapat menggantikan sumber-sumber penerangan konvensional seperti lampu *fluorescent* dan lampu pijar yang karakteristiknya bebas merkuri, tahan lama, kemampuan *color mixing*, *fast switching*, dan lain sebagainya. Melihat potensi yang dimiliki oleh LED, maka banyak penelitian menggunakan LED sebagai fungsi komunikasi [8].



Gambar 2.1 Rentang Frekuensi Spektrum Cahaya Tampak [2]

Dilihat dari Gambar 2.1, cahaya tampak memiliki panjang gelombang antara 380-750 nanometer. Gelombang frekuensi dari cahaya tampak bisa dimanfaatkan dalam penggunaan teknologi VLC. VLC menjadi solusi karena memiliki kecepatan yang lebih cepat dari gelombang frekuensi radio yaitu di atas 10 Megabite per detik. Meskipun frekuensi radio lebih umum digunakan, namun frekuensi gelombang radio sering mengalami interferensi dikarenakan keadaan lingkungan, rentang kamanan karena bisa diakses oleh siapapun dalam jarak yang lumayan jauh, dan biaya pemasangan yang mahal. VLC menawarkan latensi yang sangat rendah dengan *bandwith* yang tinggi sementara spektrum radio terbatas pada frekuensi sehingga berpotensi *cross talk*. VLC bekerja dengan cara mengalihkan arus ke LED dengan pancaran cahaya *on* dan *off* dengan kecepatan yang sangat tinggi, terlalu cepat untuk diperhatikan oleh mata manusia sehingga kedipannya tidak terlihat. VLC dapat digunakan di hampir semua tempat karena sudah ada dalam kehidupan sehari-hari seperti penggunaan lampu LED di dalam maupun di luar ruangan serta harga lampu yang relatif murah. LED digunakan secara umum termasuk rumah dan kantor di mana LED yang dipancarkan menggunakan teknologi VLC ideal untuk transmisi data. Ini menjadikan VLC sebagai teknologi komunikasi nirkabel yang mudah dan skalabel.

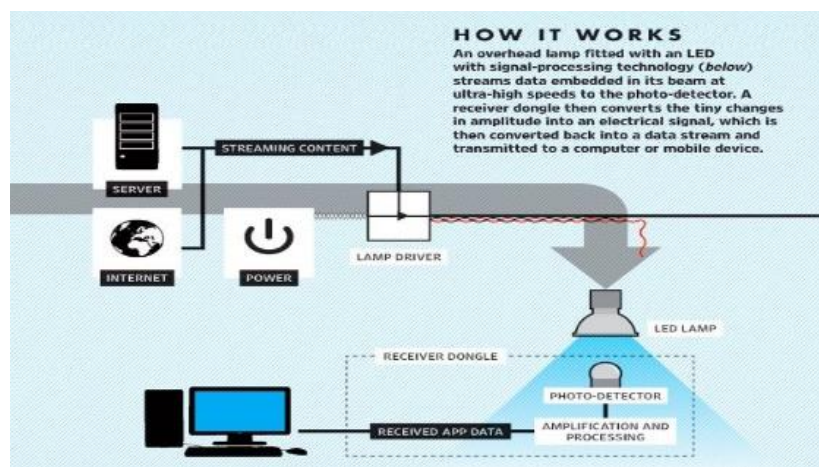
2.2.2 Light Fidelity (Li-Fi)

Light Fidelity atau Li-Fi ialah teknologi yang muncul dari *visible light communication* (VLC) yang memungkinkan untuk mengirimkan data melalui cahaya, misalnya melalui *Light Emitting Diode* (LED). Li-Fi menjadi istilah yang

sering digunakan sebagai versi optik dari Wi-Fi untuk label kecepatan pada sistem komunikasi nirkabel. Li-Fi tidak menggunakan gelombang radio *gigahertz* melainkan menggunakan cahaya untuk pentransferan data. Ide Li-Fi pertama kali diperkenalkan oleh seorang Fisikawan Jerman bernama Harald Hass yang menyebutkan istilah *data through illumination (light)* atau pentransferan data melalui iluminasi cahaya pada TED Global di tahun 2011 yang menjelaskan dan mensimulasikan teknologi *Visible Light Communication (VLC)* dalam melakukan komunikasi. Menurut Haas, cahaya yang ia sebut *D-Light* dapat digunakan untuk menghasilkan kecepatan transfer data yang lebih tinggi dari 10 Megabit per detik yang jauh lebih cepat dari koneksi *broadband* rata-rata [9].

2.2.2.1 Cara Kerja Li-Fi

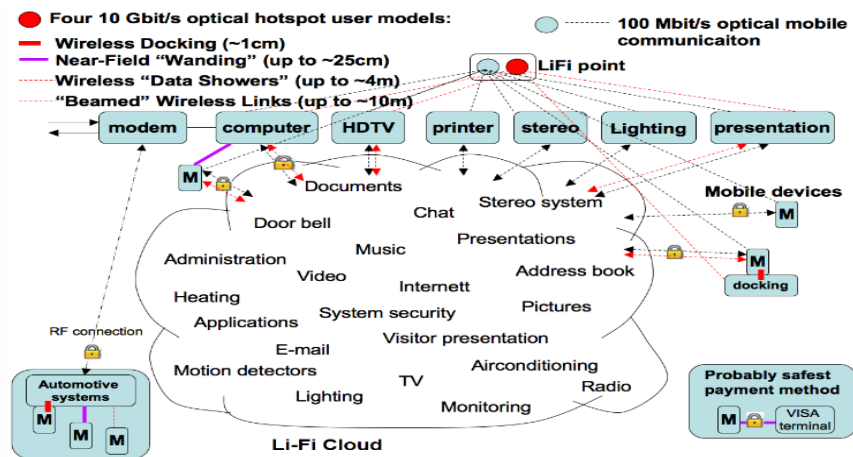
Teknologi Li-Fi dan Wi-Fi dalam mentransmisikan data sama-sama secara elektromagnetik. Pada teknologi Wi-Fi menggunakan gelombang radio sedangkan Li-Fi menggunakan gelombang cahaya yang tampak. Diagram transmisi data menggunakan LED ditunjukkan pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Diagram Transmisi Data pada Li-Fi [8]

Dapat dilihat dari Gambar 2.2 di atas bahwa cara kerja dari Li-Fi yaitu pada salah satu ujung pentransmisi ada cahaya emitor yang disebut LED dan fotodetektor (sensor cahaya) pada sisi lain. Saat LED menyala maka foto detektor register akan bernilai 1 dan saat LED mati akan bernilai 0. Saat membangun pesan, LED akan berkedip berkali-kali atau menggunakan sebuah *array* LED yang memiliki warna yang berbeda, kecepatan dalam mentransmisikan data daam kisaran ratusan megabit per detik.

Data dapat dikodekan dengan cara cahaya berkedip secara bervariasi untuk menghasilkan deretan yang berbeda dengan nilai 1 dan 0 [9]. LED termodulasi dengan begitu cepat sehingga mata manusia tidak bisa melihat kedipan cahaya yang dipancarkan. *Light Emitting Diode* (LED) dapat diaktifkan dan dimatikan lebih cepat pada cahaya yang tampak terus-menerus sebenarnya berkedip. Saat LED berkedip, informasi dapat dikodekan dalam cahaya untuk kombinasi berbeda antara 1 dan 0. Metode ini menggunakan pulsa cahaya yang cepat untuk mengirimkan informasi secara nirkabel yang disebut *Visible Light Communication* (VLC).



Gambar 2.3 Li-Fi Cloud [6]

Penggunaan Li-Fi bisa diterapkan pada penggunaan teknologi *Internet of Things* (IoT) dengan cara layar ponsel, monitor, televisi, dan bola lampu dapat bertindak sebagai sumber cahaya. Di sisi penerima, kamera ponsel dapat digunakan sebagai detektor foto untuk memindai dan mengambil data. Pada Gambar 2.3 menunjukkan bagaimana *cloud* teknologi Li-Fi berkomunikasi dengan perangkat lain. Li-Fi akan melakukan transfer data hingga 10 Gbit/s ke perangkat yang terhubung dengan Li-Fi sehingga dapat melakukan komunikasi secara *real time*.

2.2.2.2 Ruang Lingkup dan Tantangan Li-Fi

Ruang lingkup dan tantangan yang harus dihadapi pada penggunaan teknologi Li-Fi seperti berikut [10]:

1. Li-Fi harus dalam kondisi *direct Line of Sight*.
2. Saat peralatan dipasang di luar ruangan, perlu persiapan dalam menghadapi perubahan kondisi cuaca dan interferensi dari cahaya lain.
3. Perlunya optimalisasi pengiriman data ke pemancar.

4. Gelombang cahaya tidak dapat dengan mudah diretas dan tidak menembus dinding tebal seperti gelombang radio.
5. Saat sumber cahaya tidak berfungsi maka akses internet akan terputus.

2.2.2.3 Perbandingan Teknologi Li-Fi dengan Teknologi Lainnya

Berikut perbandingan teknologi Li-Fi dengan teknologi lainnya :

Tabel 2.1 Perbandingan Teknologi Li-Fi dan Wi-Fi [11]

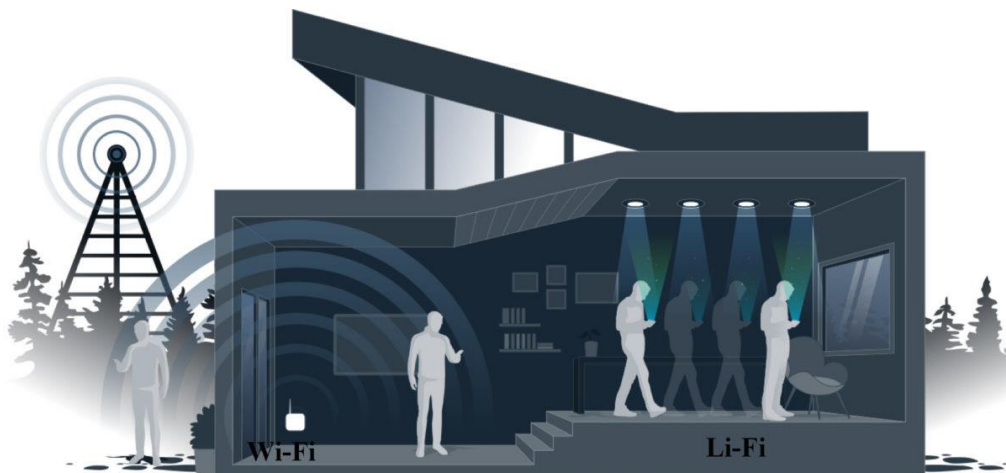
	Li-Fi	Wi-Fi
<i>Speed</i>	1-3.5 Gbps	54-250 Mbps
<i>Range</i>	10 meters	20-100 meters
<i>IEEE Standard</i>	802.15.7	802.11b
<i>Spectrum Range</i>	10000 times than Wi-Fi	Radio spectrum range
<i>Network Topology</i>	Point-to Point	Point-to-Multi Point
<i>Data Transfer Medium</i>	Use light as a carrier	Use radio spectrum
Frequency Band	100 times of THz	2.4 GHz

Li-Fi dan Wi-Fi merupakan dua teknologi yang tidak jauh berbeda, yaitu sama-sama teknologi nirkabel (tanpa kabel) dalam mentransmisikan data. Namun bisa dilihat perbandingan antara kedua teknologi ini dari kecepatan, jarak, standar IEEE dan lainnya. Dalam pentransmisian data, bisa di katakana bahwa Li-Fi memiliki kecepatan dan spektrum yang lebih dibandingkan dengan Wi-Fi. Namun bisa dilihat pada jangkauan jarak yang luas dapat menggunakan Wi-Fi.

Tabel 2.2 Perbandingan Teknologi Li-Fi dan Wi-Max [12]

	Li-Fi	Wi-Max
<i>Speed</i>	100 times faster than Wi-Max	100 times faster than Wi-Fi
<i>Range</i>	10 meters	30-100 meters
<i>IEEE Standard</i>	802.15.7	802.16a
<i>Spectrum Range</i>	10000 times than Wi-Fi	10-66 GHz
<i>Network Topology</i>	Point-to Point	Point-to-Multi Point
<i>Technology Used</i>	Light Fidelity	Microwave
<i>Frequency Band</i>	100 times of THz	2-11 GHz

Wi-Max atau *Worldwide Interoperability for Microwave Access* merupakan teknologi akses nirkabel pita lebar yang memiliki kecepatan akses tinggi dengan jangkauan yang luas. Saat dibandingkan dengan teknologi Li-Fi, kecepatan yang dimiliki teknologi Li-Fi lebih cepat dibandingkan dengan teknologi Wi-Max, begitupun lebar spektrum dan frekuensi band yang dimiliki Li-Fi lebih unggul dibandingkan teknologi Wi-Max. Namun perbedaan kedua teknologi ini berada pada jangkauan spektrum frekuensi dan teknologi yang digunakan pada Wi-Max menggunakan *microwave*.



Gambar 2.4 Perbandingan Teknologi LTE, Wi-Fi, dan Li-Fi [13]

Pada Gambar 2.4 teknologi LTE, Wi-Fi, dan Li-Fi di transmisikan oleh gelombang yang berbeda. Pada LTE atau *Long Term Evolution* merupakan standar *broadband* nirkabel 4G yang merupakan jaringan nirkabel tercepat untuk perangkat seluler. Teknologi LTE memberikan kecepatan transfer data antara 100 megabit per detik dan satu gigabit per detik. Standar Wi-Fi mentransfer data antara 11 Mbps dan 600 Mbps, sedangkan Li-Fi bisa mencapai 10 gigabit per detik. Namun pada teknologi LTE dapat dipengaruhi oleh kondisi cuaca buruk, dan lalu lintas jaringan dan kemampuan masing-masing perangkat. LTE memungkinkan perangkat terhubung dengan jangkauan yang sangat luas, biasanya terhubung sampai ke luar negara. Perangkat komputasi Wi-Fi harus tetap dalam jarak 300 kaki dari *router* nirkabel untuk menjaga fungsionalitas jaringan nirkabel. Sedangkan pada Li-Fi hanya bisa menjangkau hingga 10 meter tergantung dari sumber cahaya yang dipancarkan [10].

2.2.3 Standar dan Modulasi Li-Fi

Teknologi Li-Fi masih serupa dengan teknologi VLC dalam penggunaan standarisasi. Li-Fi menggunakan standar VLC yaitu IEEE 802.15.7 yang memiliki lapisan fisik atau *physics* (PHY) dan *Media Access Control* (MAC). Standar ini mampu memberikan kecepatan data yang cukup untuk mengirimkan layanan audio, video dan multimedia. Ada 3 standar pada lapisan PHY :

1. PHY 1 di dirikan untuk aplikasi luar ruangan dan bekerja dari 11,67 kbit/detik hingga 267,6 kbit/detik.
2. PHY 2 memungkinkan mencapai kecepatan data dari 1,25 Mbit/detik hingga 96 Mbit/detik.
3. PHY 3 digunakan untuk banyak sumber emisi dengan metode modulasi tertentu yang disebut *color shift keying* (CSK). PHY III dapat mencapai kecepatan data 12 Mbit/detik ke 96 Mbit/detik.

Dalam sistem Li-Fi, modulasi yang digunakan ialah modulasi berbasis *dimming* (peredupan) yaitu modulasi pada skema *single carrier*. Pada keadaan *dimming*, skema modulasi mengikuti kecepatan data yang ditransmisikan ingin dicapai dengan mengendalikan *on-off* level dari LED. *On-Off Keying* (OOK), *Pulse Width Modulation* (PWM), *Pulse position modulation* (PPM), *Variable pulse position modulation* (VPPM), *Overlapping PPM* (OPPM) and *optical spatial modulation* (OSM) adalah peredupan maupun kedipan cahaya utama berbasis modulasi skema yang bisa diterapkan pada sistem Li-Fi dalam ruangan. Dalam mencapai kecepatan data yang lebih tinggi dan untuk mengurangi efek distorsi dan interferensi, modulasi *multicarrier* juga dapat berguna dalam sistem komunikasi berbasis Li-Fi, tetapi skema modulasi *multicarrier* kurang hemat energi. Salah satu skema yang paling umum adalah OFDM di mana implementasi untuk sistem Li-Fi diperlukan teknik konvensional untuk kinerja yang lebih baik karena basis sinyal OFDM kompleks dan bipolar.

Ada beberapa skema modulasi yang dirancang untuk mendukung tujuan komunikasi dan penerangan dengan menggunakan LED warna-warni. *Color shift keying* (CSK) adalah skema di mana sinyal dikodekan ke dalam intensitas warna yang dipancarkan oleh cahaya LED merah, hijau dan biru (RGB). Warna konstan dipertahankan dengan memetakan bit transmisi ke kromatik sesaat dari LED untuk

memastikan fluks cahaya konstan. CSK memiliki keunggulan pada kinerja LED karena fluks bercahaya konstan dan tidak memiliki efek kedipan (*flicker*) atas semua frekuensi. Dalam sistem VLC, para peneliti mengusulkan *Metamerik Modulation* (MM) yang memodulasi data dalam spektrum yang terlihat sambil mempertahankan kondisi pencahayaan yang konstan. MM memiliki kontrol kualitas warna yang lebih baik dan lebih tinggi pada efisiensi energi [3].

2.2.4 Light Emitting Diode (LED)

Light Emitting Diode atau LED adalah semikonduktor yang memancarkan cahaya monokromatik yang tidak koheren saat diberi tegangan yang searah atau maju. Secara bahasa diartikan sebagai dioda yang memancarkan cahaya bila dialirkan arus listrik. Semikonduktor merupakan material yang dapat bertindak sebagai konduktor (penghantar arus listrik) dan isolator (penahan arus listrik). Semikonduktor memiliki sifat konduktivitas yang terletak di antara konduktor dan isolator yang sifat bahannya terletak pada struktur jalur atau pita energi yang dimiliki atom-atomnya. Pita energi diartikan sebagai kelompok tingkat energi elektron didalam kristal.

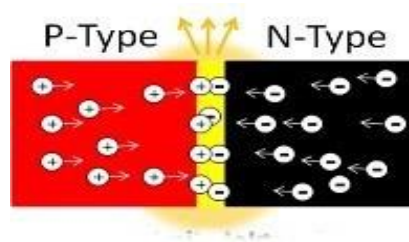
Perbedaan warna pada LED menyebabkan adanya perbedaan panjang gelombang cahaya. Keanekaragaman warna pada LED menentukan *wavelength* dan senyawa semikonduktor yang digunakan. LED memiliki banyak keunggulan termasuk efisiensi energi, kerapatan cahaya, masa pakai, dan keandalan. Efisiensi LED komersial meningkat selama lima puluh tahun terakhir dari 0.1 lm/W ke tingkat di atas 100 lm/W. Saat ini, LED dapat mencakup semua spektrum yang terlihat dari panjang gelombang pendek ke panjang gelombang tinggi. Karena itu penggunaan LED telah banyak diterapkan dalam kehidupan sehari-hari seperti pencahayaan di dalam ruangan, lampu penerangan jalan, lampu indikator, maupun pemancar infra merah pada *remote control* [14].

2.2.4.1 Cara Kerja LED

LED memberikan banyak manfaat dibandingkan lampu neon dan lampu pijar seperti efisiensi yang lebih tinggi, manufaktur yang ramah lingkungan, desain

yang fleksibilitas, masa penggunaan yang lama, dan performasi spektrum yang meningkat.

Prinsip kerja dari LED ialah mengubah sebagian besar energi listrik menjadi cahaya. Cahaya adalah bentuk energi yang dilepaskan oleh sebuah atom yang dihasilkan dari banyak partikel kecil yang memiliki energi dan momentum yang disebut photon yaitu unit utama dari suatu cahaya. Photon merupakan hasil dari pergerakan elektron-elektron. Panjang gelombang cahaya yang dipancarkan tergantung pada perbedaan tingkat energi dan jenis bahan semikonduktro yang digunakan pada chip LED. LED termasuk jenis dari dioda yang terbuat dari semikonduktor. Cara kerjanya sama dengan dioda yang memiliki dua kutub yaitu kutub positif (P) dan kutub negatif (N). LED akan memancarkan cahaya apabila dialiri tegangan maju (*bias forward*) dari anoda menuju katoda.



Gambar 2.5 P-type dan N-type Menghasilkan Cahaya [15]

LED terdiri dari sebuah chip semikonduktor yang di doping sehingga tercipta *junction* P dan N. Proses doping yang dimaksud yaitu proses untuk menambahkan ketidakmurnian (*impurity*) pada semikonduktor yang murni. Proses ini akan menghasilkan karakteristik kelistrikan yang diinginkan. Saat LED dialiri tegangan maju (*bias forward*) dari Anoda (P) ke Katoda (K), maka elektron yang lebih pada type-N akan berpindah ke wilayah yang kelebihan *hole* (lubang) yaitu wilayah yang bermuatan positif (*type-P*). Saat *electron* dan *hole* bertemu maka akan melepaskan photon dan memancarkan cahaya monokromatik yaitu cahaya dengan satu warna [15].

2.2.4.2 Panjang Gelombang LED

Panjang gelombang pada LED digunakan untuk membedakan antara LED berwarna, UV dan IR, tetapi bukan LED putih. LED putih muncul secara *cool*, *neutral*, atau *warm* karena suhu pada LED, diukur dalam satuan Kelvin (K). Panjang

gelombang LED di tentukan oleh bahan semikonduktor yang digunakan di dalamnya. Saat memilih LED, nilai panjang gelombang akan memberi gambaran tentang warna cahaya yang akan dipancarkannya [16].

Tabel 2.3 Panjang Gelombang LED [17]

Wavelength	Warna
620 – 700 nm	Merah
590 – 620 nm	Jingga
560 – 590 nm	Kuning
480 – 560 nm	Hijau
430 – 480 nm	Biru
400 – 430 nm	Violet

Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3, spektrum cahaya tampak sama dengan warna yang bisa dilihat oleh mata manusia sehingga penggunaan LED lebih ramah terhadap mata manusia. Semakin kecil panjang gelombangnya maka semakin besar frekuensi yang dimilikinya. Biasanya penggunaan LED pada umumnya menggunakan warna putih. LED dengan warna putih memiliki konsumsi daya yang lebih rendah, pencahayaan yang tinggi, dan ketahanan cahaya yang lebih lama apabila dibandingkan dengan sumber cahaya konvensional seperti lampu *incandescent* (lampu pijar) dan *fluorescent* (lampu neon). Ada dua jenis LED yang tersedia di pasaran yang menghasilkan cahaya putih untuk penerangan yaitu LED berbasis fosfor kekuningan (*Yellowfish phosphor*) dan LED RGB [16].

2.2.5 Photodetector

Photodetector merupakan perangkat yang sensitif terhadap cahaya di mana sinyal cahaya yang diterima dari sinyal foton diubah menjadi sinyal listrik. Sumber optik di sisi pengirim mengubah sinyal listrik menjadi sinyal optik seperti LED atau laser. Pada sisi penerima, masukan yang berasal dari sinyal optik dikonversi kembali dari domain optik ke domain listrik. Konversi ini lah yang dikerjakan menggunakan perangkat *photodetector*. Syarat dari perangkat *photodetector* yaitu sensitifitas yang tinggi, *noise* rendah, respon cepat, tidak *sensitive* terhadap suhu, kompatibel dengan sumber cahaya, murah, dan tahan lama. Terdapat beberapa jenis *photodetector* yang dapat digunakan dengan keperluan yang berbeda.

Dalam komunikasi serat optik sendiri terdapat dua jenis *photodector* yaitu PIN *diodes* dan APD *diodes*. PIN *diodes* adalah salah satu jenis *photodector* yang digunakan untuk mengubah sinyal optik menjadi sinyal listrik. PIN dioda terdiri dari tiga wilayah yaitu *P-region*, *I-region*, dan *N-region*. Kedua daerah P dan N di doping karena digunakan untuk kontak *Ohmic*. Wilayah I memiliki wilayah yang lebar dibandingkan wilayah P dan N sehingga resistansinya tinggi menyebabkan sebagian besar tegangan bias balik diterapkan di wilayah ini [18].

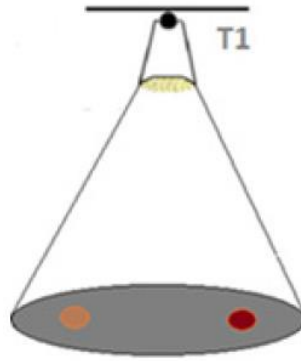
Avalanche photodiode (APD) adalah salah satu jenis *photodetector* yang di desain beroperasi pada tegangan bias terbalik (*reverse bias*) yang sangat tinggi di mana menghasilkan efek melipat gandakan elektron sama seperti *photomultiplier tube*. Tegangan bias terbalik yang sangat tinggi sekitar 10 V hingga 2000 V mempercepat proses perubahan elektron menjadi pasangan *electron-hole* pada daerah instrinsik sehingga memiliki kecepatan yang cukup pada pembawa tambahan (*additional carriers*) dari proses tubukan dengan kisi-kisi krista sehingga lebih banyak elektron yang dihasilkan dari sebuah proton. Pada kecepatan tinggi, APD lebih unggul dibandingkan dengan PIN dioda, tetapi tidak untuk aplikasi kecepatan rendah. APD sangat mahal, kira-kira sama dengan tabung *photomultiplier* [19].

2.2.6 LED Panel

Pada sistem komunikasi Li-Fi di dalam ruangan, area cakupan untuk sistem komunikasi di tentukan oleh LED Panel yang digunakan. LED Panel adalah tata letak dari LED yang nantinya akan memancarkan cahaya. Dalam sistem Li-Fi, LED Panel yang digunakan ialah LED Panel Tetap (*Fixed LP*), LED Panel Bergerak (*Moveable LP*) dan LED Panel Hibrida (*Hybrid LP*).

2.2.6.1 Fixed LP

Fixed LP atau LED Panel tetap memancarkan cahaya tegak lurus seperti pada gambar berikut :

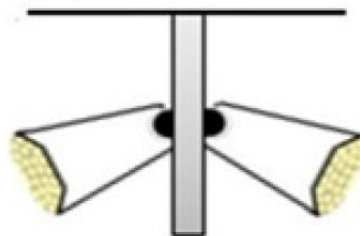


Gambar 2.6 Fixed LP [3]

Fixed LP memancarkan cahaya secara tegak lurus sehingga *user* dapat mengakses Li-Fi sesuai dengan posisi cahaya. Cakupan pada *fixed LP* lebih luas dibandingkan dengan *moveable LP* dikarenakan sinar yang dipancarkan tidak memiliki sudut kemiringan pada LED Panel sehingga cahaya yang dipancarkan bisa lebih fokus.

2.2.6.2 Moveable LP

Moveable LP atau LED Panel bergerak memancarkan cahaya tidak secara tegak lurus atau memiliki sudut kemiringan tertentu seperti pada Gambar 2.7 berikut :



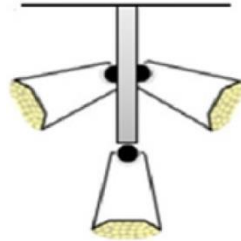
Gambar 2.7 Moveable LP [3]

Moveable LP dapat dilihat pada bola lampu yang dipancarkan yaitu dapat berputar pada sudut tertentu untuk menyesuaikan area cakupan sesuai dengan kebutuhan penempatan penerima. Pada gambar diatas, area jangkauan pemancar dikendalikan oleh rotasi LED pada sudut tertentu. Ada dua sudut yang harus diperhatikan yaitu sudut penyinaran (*irradiance*) dan sudut insiden (*incidence*). Sudut penyinaran ialah sudut pemancaran yang sehubungan tegak lurus dan sudut insiden ialah sudut cahaya yang diterima sehubungan dengan poros penerima. Penggunaan LED Panel bergerak mendekati intensitas cahaya dapat dikontrol

dengan menggunakan sudut radiasi tertentu sehingga kita juga dapat mengontrol jarak antara penerima dan pemancar untuk mencapai maksimal daya yang diterima.

2.2.6.3 Hybrid LP

Hybrid LP atau LED Panel Hibrida ialah gabungan dari *fixed LP* dan *Moveable LP* yang memancarkan cahaya tegak lurus memiliki sudut kemiringan seperti pada Gambar 2.8 berikut :



Gambar 2.8 Hybrid LP [3]

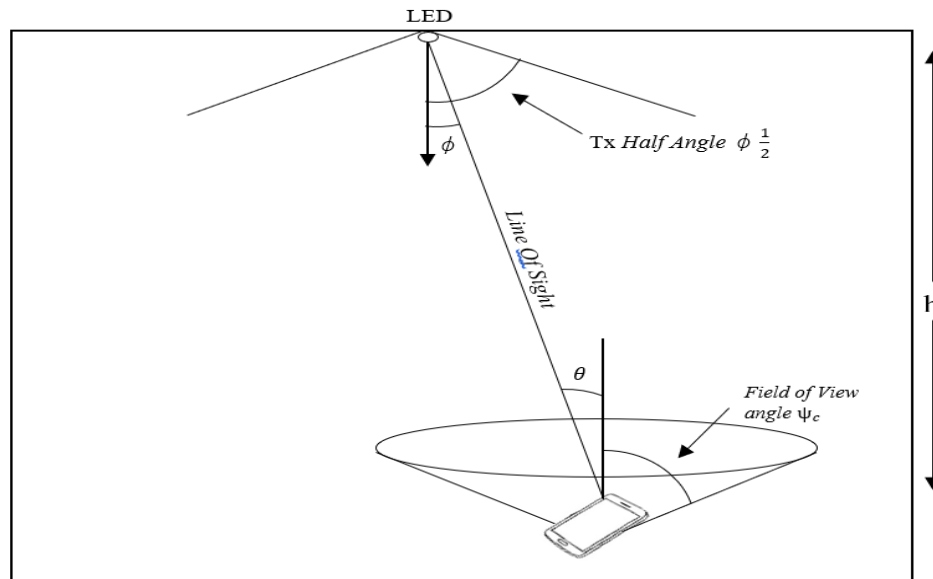
Hybrid LP adalah gabungan dari kedua LP antara LED Panel *fixed* dan *moveable* yang memberikan cakupan area yang lebih luas lagi. Sehingga pada pentranmisian data dapat dimaksimalkan mengikuti sinar yang dipancarkan ke penerima.

2.2.7 Parameter Optik

Terdapat beberapa parameter yang digunakan dalam pengukuran serta pengujian kinerja dari teknologi optik sehingga dapat di tentukan apakah suatu komunikasi optik bekerja dengan baik atau tidak. Parameter tersebut ada dalam rangkaian sistem Li-Fi pada aplikasi *optisystem* yang nantinya akan digunakan dalam penelitian.

2.2.7.1 Indoor LOS Channel

Indoor LOS Channel adalah kanal yang berisi beberapa parameter yang mempengaruhi indeks LOS pancaran sinar LED di dalam ruangan.



Gambar 2.9 Parameter LOS Channel

Gambar 2.9 diatas menunjukkan komponen parameter yang nantinya di atur dalam LOS channel. Parameter yang ada pada Indoor LOS Channel diantaranya adalah :

1. *Distance* (h) yaitu jarak antara LED dan detektor area.
2. *Detector Area* (A_d) yaitu ukuran dari detektor pada receiver di mana cahaya akan dipancarkan sehingga detektor pada penerima bisa mendeteksi cahaya.
3. *Field of View* (ψ_c) yaitu bidang pandang dari sebuah photodetector yang menerima cahaya.
4. Tx Half Angle ($\phi/2$) yaitu setengah dari sudut pancaran sinar LED pada transmitter.
5. *Irradiance Angle* atau sudut penyinaran (ϕ) yaitu sudut yang dipancarkan sehubungan tegak lurus pada pemancar atau disebut sudut timbul.
6. *Incidence Angle* atau (θ) sudut insiden yaitu sudut cahaya yang datang sehubungan dengan poros penerima.

2.2.7.2 Opt Filt Signal

Opt Filt Signal berisi frekuensi dan bandwidth di mana nilainya harus sama dengan parameter yang ada pada LED. Parameter yang ada pada Opt Filt Signal akan dipancarkan ke photodetector yang berfungsi sebagai transfer data yang telah di proses sebelumnya.

2.2.7.3 PIN Signal Model

PIN *Signal Model* digunakan untuk mengubah sinyal optik yang diterima menjadi arus listrik berdasarkan responsifitas perangkat. Pada model PIN *Signal* ini meliputi :

- Responsifitas (konstan, berdasarkan bahan yang di tentukan pengguna).
- Pemodelan kebisingan (*thermal noise, noise shot, dark current*).
- Model respons frekuensi.

2.2.7.4 NRZ Pulse Generator

NRZ *Pulse Generator* atau *Non Return to Zero* adalah proses pengubah nilai bit 0 dan 1 menjadi nilai (+) dan (-). NRZ *Pulse Generator* akan mengkonversi pulsa acak tersebut ke dalam bentuk sinyal digital dengan teknik *line coding*.

2.2.8 Hukum Lambertian

Untuk menghitung pencahayaan pada sistem VLC, diasumsikan bahwa setiap LED memiliki pola radiasi Lambertian. Hukum Lambertian digunakan pada model VLC dengan *Line of Sight* (LOS) di mana cahaya yang dipancarkan merambat melalui ruang bebas sesuai penyalarsan antara pemancar (Tx) dan penerima (Rx). Berdasarkan setengah sudut pemancar ($\phi \frac{1}{2}$), urutan rumus Lambertian dapat dihitung sebagai berikut [20] :

$$m = \frac{-\ln 2}{\ln (\cos \phi \frac{1}{2})} \quad (2.1)$$

Gain konsentrator optik diberikan persamaan sebagai berikut [20]:

$$Gain = \frac{n^2}{(\sin(\psi_c))^2} \quad (2.2)$$

di mana n adalah indeks bias dan ψ_c adalah FOV atau bidang pandang. *Field Of View* (FOV) adalah parameter penting untuk menentukan rentang penerima cahaya dari penerima. Dalam penggunaan optik, saluran DC *gain* untuk menentukan *path loss* dituliskan sebagai berikut [20] :

$$H_{Loss} = \begin{cases} \frac{m + 1 \cdot Ad}{2 \cdot \pi \cdot h^2} Gain \cdot \cos(\theta)^m \cdot \cos(\phi), & \text{untuk } 0 \leq \theta \leq \psi_c \\ 0, & \theta > \psi_c \end{cases} \quad (2.3)$$

di mana A_d adalah area aktif dari *photodetector*, θ adalah sudut datang di penerima, ϕ adalah sudut cahaya yang dipancarkan LED, h adalah jarak antara pemancar dan penerima, ψ_c adalah bidang pandang (FOV) detektor. Daya optik yang diterima (P_r) berasal dari daya optik yang ditransmisikan (P_t) dari setiap LED dapat dituliskan sebagai persamaan 2.4 [21] :

$$P_r = H(0) \cdot P_t \quad (2.4)$$

2.2.9 Bit Error Rate (BER)

Bit Error Rate (BER) adalah ukuran jumlah kesalahan bit yang terjadi pada sejumlah transmisi bit dan biasanya dinyatakan sebagai rasio. Misalnya, jika kesalahan 5 bit terjadi dalam satu juta bit yang ditransfer, maka BERnya adalah $5/1.000.000$ atau 5×10^{-6} . BER adalah ukuran kualitas perangkat pengirim, penerima, jalur transmisi dan lingkungannya karena mempertimbangkan faktor-faktor seperti kebisingan, jitter, redaman, fading, dan deteksi kesalahan dan skema koreksi yang digunakan dalam standar antarmuka. BER diukur dengan menerapkan aliran bit NRZ *pseudorandom* yang kontinu ke antarmuka, menghitung kesalahan bit dan membandingkan data yang dikirim dengan data yang diterima kemudian menghitung rasio. Pengujian BER umumnya tidak digunakan dengan antarmuka kecepatan rendah, tapi penting untuk antarmuka berkecepatan tinggi [22]. BER di definisikan sebagai jumlah error yang terjadi tiap jumlah bit data dikirimkan pada suatu sistem digital, maka [22] :

$$BER = \frac{N_E}{N_T} \quad (2.5)$$

di mana BER merupakan *Bit Error Rate*, N_E merupakan jumlah bit *error* dan N_T merupakan jumlah bit total yang dikirim. Secara umum pada jaringan komunikasi optik nilai BER yang harus dipenuhi adalah BER $10^{-6} - 10^{-12}$ yang artinya, setiap 10⁹ hingga 10¹² bit data yang dikirim maka nilai *error* yang terjadi hanyalah 1 bit. BER juga disebut dengan *error probability* (P_e) yang berarti probabilitas munculnya *error* dalam transmisi data. Dalam proses transmisi, bit tertentu biasanya memiliki amplitudo sinyal yang terlalu dekat dengan *threshold* sehingga tidak dapat dibedakan nilainya. Nilai BER dapat dinyatakan dalam *Q-factor* pada persamaan berikut [23]:

$$BER = P_e(Q) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{e^{-Q^2/2}}{Q} \quad (2.6)$$

Pengaplikasian BER pada ITU-T Recs G.691, G.692, dan G.959.1 pada perancangan optik memiliki *end-of-life* BER yang tidak lebih buruk dari 10^{-12} . Secara umum, semakin rendah nilai BER referensi, maka semakin sulit untuk memverifikasi kinerja dari penerima. Metode alternatif untuk mengukur kinerja penerima adalah dengan mengukur *Q-factor* di mana BER 10^{-12} sesuai dengan $Q = 7,03$ [24].

Pada *optisystem* 16 sendiri BER ditampilkan dengan menggunakan komponen BER *Test Set* di mana komponen ini menghasilkan *bit sequence* yang besar, mentransmisikan urutan bit ke *Devices Under Test* (DUT) dan membandingkan urutan bit yang diterima dari DUT ke urutan bit yang di transmisikan. BERT ini melakukan perhitungan kesalahan (*error*) langsung dari panjang urutan bit yang di tentukan. Rumus BER yang digunakan pada sistem ini ialah [20]:

$$BER = \frac{Errors}{Sequence Length - 2 \times Guard Bits} \quad (2.7)$$

di mana *Errors* merupakan *bit error* yang terjadi pada saat pentransmisian data, *Sequence Length* merupakan panjang *bit* yang ditransmisikan, dan *Guard Bits* merupakan *bit* pelindung dalam sebuah data.

BERT merupakan blok *2-in-1* yang bertindak sebagai generator *Pseudo Random Binary Sequence* (PRBS) yang menentukan *bit rate* data dan juga sebagai kalkulator BER. Blok ini mengabaikan beberapa kesalahan dalam bit yang dikirmkan dalam perhitungan BER. Oleh karenanya saat *Bit Errors* bernilai 0 maka dalam sistem tersebut tidak ada *bit* yang *error* saat mentransmisikan data. Namun pada saat *Bit Errors* memiliki nilai >0 , maka BER akan otomatis menampilkan nilainya.

2.2.10 Signal to Noise Ratio (SNR)

Parameter pada system transmisi data yang harus diperhatikan ialah *Signal to Noise Ratio* (SNR). SNR digunakan untuk menunjukkan berapa banyak *noise* yang mengganggu sinyal yang ditransmisikan. Dengan kata lain, SNR akan membandingkan daya sinyal yang di inginkan terhadap *background noise* yang di

dapatkan. Untuk mengukur SNR, beberapa rumus diperlukan untuk melihat perbandingan sinyal dan *noise* yang ada pada saat komunikasi berlangsung. Rumus SNR dapat dituliskan dengan [21] :

$$SNR = \frac{(pr.R)^2}{\sigma_n^2} \quad (2.8)$$

Pada persamaan 2.8, R adalah *responsivity photodetector* (A/W) dan σ_n^2 adalah total variasi *noise*. *Noise power* terdiri dari *shot noise* (σ_{shot}) dan *thermal noise* ($\sigma_{thermal}$) yang di rumuskan sebagai berikut [21] :

$$\sigma_n^2 = \sigma_{shot}^2 + \sigma_{thermal}^2 \quad (2.9)$$