

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Seiring berjalannya waktu, teknologi telekomunikasi terus berkembang sangat pesat dengan tujuan mencapai efisiensi agar kebutuhan transmisi data yang meningkat juga terpenuhi baik dari nirkabel atau kabel. Saat ini sistem transmisi kabel dengan segala perkembangan dan teknologinya mulai beralih secara nirkabel. Teknologi transmisi data oleh gelombang radio hanyalah sebagian kecil dari spektrum elektromagnetik untuk transmisi data. Dengan kata lain, karena spektrum frekuensi gelombang radio masih terbatas, maka sedang dikembangkan penemuan-penemuan teknologi transmisi data yang diharapkan dapat membawa akses layanan dan transmisi data yang lebih baik di dunia telekomunikasi. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menggunakan Li-Fi. Li-Fi adalah singkatan dari *Light Fidelity*, transmisi data melalui iluminasi (cahaya) dengan mengambil serat dari serat optik dan mengirimkan data melalui berbagai lampu LED dengan intensitas lebih cepat dari yang dapat dilacak oleh mata manusia. Li-Fi merupakan teknologi yang telah berkembang selama beberapa tahun terakhir dan akan terus berlanjut selama beberapa dekade yang akan datang karena banyak keunggulan yang ditawarkannya, yaitu kemampuan untuk memanfaatkan infrastruktur utama berupa penerangan, dan biaya. Transmisi kecepatan yang efektif, bebas lisensi, dan aman mencapai GHz, tanpa interferensi elektromagnetik [1].

Pada dasarnya, Li-Fi adalah bagian dari komunikasi cahaya tampak atau *Visible Light Communication* (VLC). VLC adalah media komunikasi data yang menggunakan cahaya tampak pada rentang frekuensi 430 THz (750 nm) hingga 790 THz (380 nm) sebagai pembawa optik untuk mengirimkan sinyal informasi secara cepat secara nirkabel menggunakan impuls optik. Prinsip kerja dari Li-Fi yaitu dengan memanfaatkan sumber cahaya seperti *Light Emitting Diode* (LED) ataupun *Light Sensor*, kemudian ujung lain perangkat mendeteksi dan menafsirkannya sebagai file biner yang sama yang dibaca komputer. Artinya, teknologi tersebut berfungsi jika setiap perangkat dapat terhubung dan digabungkan saat mentransfer data.

Jika melihat kembali perkembangan teknologi pendahulunya yaitu dari Wi-Fi, Li-Fi memiliki kelebihan yang mampu menyaingi dari sisi kecepatan transfer data dan keamanannya, bahkan ratusan kali lebih cepat dan lebih aman. Kepadatan komunikasi Li-Fi yang tinggi dan jangkauan data nirkabel di area terbatas dapat menjadi solusi untuk teknologi ini. *Bandwidth* cahaya besar dan dianggap cocok untuk menghubungkan beberapa perangkat sekaligus untuk menghindari interferensi. Li-Fi sendiri menggunakan standar VLC yaitu standar IEEE 802.15.7, serta VLC memiliki tiga lapisan fisik yang berbeda. Teknologi Li-Fi sendiri memiliki tiga jenis LED Panel yaitu *Fixed LED Panel*, *Moveable LED Panel*, dan *Hybrid LED Panel*. Ketiga jenis LED Panel tersebut memberikan cakupan jaringan dan sistem *Line of Sight* (LOS) yang berbeda bagi masing-masing LED Panel yang dipancarkan. Sistem pemancaran Li-Fi tentu memperhatikan dua parameter yaitu yang disebut *Transmitter Half Angle* dan sudut penerima *Field Of View* (FOV). *Transmitter Half Angle* sendiri merupakan sudut pemancar dari teknologi Li-Fi, sedangkan FOV yaitu sudut penerima atau bidang pandang di sisi penerima yang dapat mempengaruhi *gain concentrator* dari cahaya yang dipancarkan oleh LED. Dari kedua parameter tersebut akan di bahas lebih lanjut bagaimana pengaruh kedua parameter tersebut mempengaruhi unjuk kerja teknologi Li-Fi dengan menggunakan sistem *multiplexing* yang bertujuan untuk mendukung teknologi tersebut dalam menghemat biaya saluran komunikasi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka diajukan penelitian dengan judul “**Analisis Pengaruh Variasi Nilai *Transmitter Half Angle* Dan *Field Of View* (FOV) Pada Sistem *Multiplexing* Li-Fi 4 Kanal Menggunakan *Moveable Led Panel*” yang diharapkan menjadi sebuah solusi untuk dapat diimplementasikan, sehingga dapat memenuhi tujuan dan manfaat bagi penelitian selanjutnya.**

1.2 RUMUSAN MASALAH

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

- 1) Bagaimana memodelkan sistem *multiplexing* 4 kanal pada sistem Li-Fi menggunakan *Moveable LED Panel*?

- 2) Bagaimana analisis pengaruh *Transmitter Half Angle* dan FOV terhadap kinerja sistem *multiplexing* 4 kanal pada sistem Li-Fi menggunakan *Moveable* LED Panel?

1.3 BATASAN MASALAH

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

- 1) *Moveable* LED Panel adalah jenis LED Panel yang digunakan dalam penelitian ini
- 2) Kanal yang digunakan yaitu 4 kanal dengan sistem *multiplexing* dan spasi kanal 25 nm
- 3) LED yang digunakan yaitu warna biru yaitu dengan panjang gelombang antara 430 – 505 nm
- 4) Penelitian ini menggunakan simulasi di dalam ruangan dengan jarak 3 meter antara pemancar dan penerima dengan keadaan *Line of Sight*
- 5) *Bit rate* yang digunakan yaitu 20 Mbps dan jumlah bit data yang dikirimkan ialah 512 bit
- 6) Parameter nilai yang menjadi penelitian adalah variasi *Tx Half Angle* dan FOV yaitu pada 30°, 45°, 60°, dan 75°
- 7) Sudut datang (*Irradiance Angle*) dan sudut pemantulan (*Incidence Angle*) yang digunakan masing-masing 20°
- 8) Parameter yang dianalisis pada penelitian ini yaitu daya terima, *Bit Error Rate* (BER), *Q-Factor* dan *Signal to Noise Ratio* (SNR)
- 9) Rangkaian dan parameter nilai menggunakan sistem yang sudah ada pada *Software Optisystem 19*.

1.4 TUJUAN

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- 1) Membuat suatu pemodelan sistem komunikasi Li-Fi 4 kanal *Moveable* LED Panel.
- 2) Menganalisis pengaruh *Transmitter Half Angle* dan *Field of View* terhadap sistem komunikasi Li-Fi 4 kanal berdasarkan unjuk kerjanya.

1.5 MANFAAT

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan Gambaran mengenai bagaimana pengaruh *Transmitter Half Angle* dan *Field of View* terhadap sistem komunikasi Li-Fi dengan jumlah kanal sebanyak 4 kanal. Dengan mengetahui pengaruh sudut kemiringan dari sisi pemancar dan sisi penerima merujuk dari beberapa parameter yang diujikan, diharapkan dapat memberi Gambaran dari hasil unjuk kerja simulasi tersebut.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Penelitian ini terbagi menjadi beberapa bab. Pada bab 1 berisi penjelasan mengenai latar belakang masalah, tujuan, batasan masalah, perumusan masalah, metodologi, serta sistematika penulisan dari penelitian ini. Kemudian bab 2 ini berisi penjelasan tentang teori dasar dengan perangkat yang digunakan pada sistem yaitu mengenai kajian pustaka dan dasar teori yang mendukung skripsi ini seperti penjelasan *Visible Light Communication*, Li-Fi beserta prinsip kerjanya, LED, Photodiode, parameter yang diuji, dan sebagainya. Selanjutnya pada bab 3 ini dibahas mengenai langkah-langkah penelitian yang dilanjutkan dengan proses perancangan simulasi menggunakan *software Optisystem 19*, serta jalan penelitian yang meliputi parameter simulasi, pemodelan sistem, parameter unjuk kerja sistem. Adapun hasil simulasi yang dijelaskan pada Bab 4. Terakhir, yaitu Bab 5 yang berisi tentang kesimpulan dan saran dari penelitian yang dilakukan.

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian [2] menguji tentang Sistem Komunikasi *Light Fidelity* (Li-Fi) berbasis *indoor*, dimana desain sistem komunikasi Li-Fi dengan cakupan di dalam ruangan ini menggunakan tiga tipe LED Panel (LP) yaitu *Fixed LP*, *Moveable LP*, dan *Hybrid LP*. Adapun perhitungan *Line of Sight* (LOS) antara pemancar (Tx) dan penerima (Rx) ditunjukkan pada *Signal to Noise Ratio* (SNR) yaitu pada saat sudut penyinaran di bawah 70° maka hasil BER yang dihasilkan nilainya akan baik, namun apabila nilai sudut penyinaran diatas 70° maka nilai BER yang didapatkan semakin kecil dengan nilai sudut datang tiap percobaan yaitu masing-masing sama sebesar 45° . Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Fixed LP* dapat mencapai kecepatan data yang lebih tinggi dengan aman dan lebih cepat karena tidak ada sudut di area cakupan yang dibentuk oleh LED.. Sedangkan pada *Moveable LP* disebut praktis dalam pengaplikasiannya karena dapat menyesuaikan sudut transmisi LED. Pada *Hybrid LP*, dapat mengakomodasi lebih banyak *user* dan juga efisien dengan tanpa adanya tumpang tindih pada area cakupan dikarenakan berdekatan. Pemilihan jenis LED Panel dapat diterapkan sesuai dengan area cakupan ruangan yang akan diimplementasikan. Pengimplementasian jenis LP ditunjukkan dengan nilai SNR sesuai dengan sudut yang di dapatkan pada tiap jenis LP.

Penelitian oleh [3] membahas tentang bagaimana pengaruh *multipath* dari sebuah sistem komunikasi Li-Fi terhadap sinyal yang di terima oleh *receiver*. Penelitian tersebut membuat skenario dengan beberapa tipe lampu LED yang digunakan untuk mengirimkan data, juga memiliki *bandwidth* modulasi yang berbeda, mulai dari beberapa puluh MHz (*phosphoric LED*), hingga sekitar 100 MHz (RGB LED) dan hingga beberapa ratus MHz (LED dengan resonator resonansi yang diperkuat). Hasil perhitungan nilai dari arus listrik pada *photodetector* dilakukan dengan menggunakan program MatLab dengan memperhatikan data masukan pada data yang tertera. Nilai maksimum sinyal yang diterima adalah 0,043079 Watt, nilai minimumnya adalah 0,00011096 Watt. Perlu

dicatat bahwa *photodetector* mampu menerima sinyal dalam kisaran 4×10^{-6} Watt hingga 500×10^{-3} Watt, sehingga nilai yang diterima berada dalam kisaran yang aman. Nilai arus listrik maksimum adalah 0,06847 A, nilai minimum adalah 0,00017643 A [3]. Menurut perhitungan struktur jaringan Li-Fi yang dilakukan dalam penelitian ini, sinyal NLOS yang dipantulkan mungkin tidak diperhitungkan, karena sinyal NLOS beberapa kali lipat lebih kecil dari sinyal LOS. Kekurangan dari penelitian ini adalah skenario penelitian masih terbilang cukup umum, tidak menunjukkan secara spesifik bagaimana penelitian dilakukan. Begitupun dengan kesimpulan secara umum, tidak dikaitkan dengan hasil dari perhitungan yang dilakukan.

Penelitian [4] berisi tentang penelitian konfigurasi pencahayaan di dalam ruangan menggunakan sistem komunikasi cahaya tampak (VLC). Beberapa faktor seperti daya yang diterima, skenario mobilitas, dan proses perpindahan perangkat saat digunakan (*switching*) juga diamati, hasil SNR sebagai dijadikan sebagai topik utama penelitian ini. Konektivitas penuh dalam skenario mobilitas diperlukan untuk membuat sistem lebih praktis, tetapi selain faktor-faktor di atas, peneliti menekankan pentingnya dampak 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 nilai FOV memberikan lebih banyak daya dan mengurangi SNR yang diterima. Hal ini dikarenakan semakin besar nilai FOV maka semakin besar *gain* konsentrator sehingga mengurangi sensitivitas *photodetector*. 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.

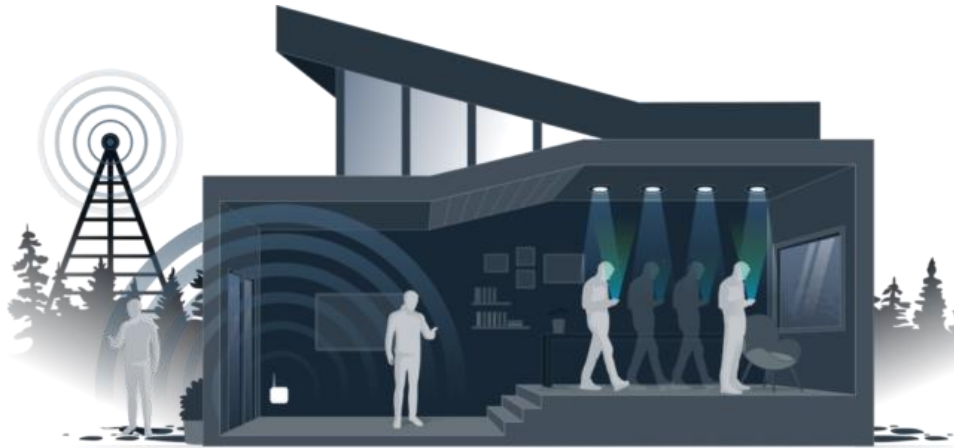
Penelitian [5] membahas tentang kajian fundamental teknologi Li-Fi mulai dari prinsip kerja, tantangan kedepannya dari teknologi Li-Fi, perbandingan dengan teknologi Wi-Fi, dan juga pengaplikasiannya dalam kehidupan sehari-hari. Penelitian ini telah memaparkan fitur dan keterbatasan dari kedua teknologi, dan juga telah mengamati bahwa Li-Fi meningkatkan transmisi data secara efisien daripada teknologi Wi-Fi. Penelitian ini juga mengamati bahwa menghubungkan perangkat IoT untuk menggerakkan perangkat dengan komunikasi yang efektif.

Pengamatan ini akan diperluas dengan perangkat IoT untuk aplikasi kontrol lalu lintas pintar di masa mendatang.

Penelitian oleh [6] meneliti sistem VLC *multiple-input multiple-output* (MIMO) *hybrid multiplexing* (HMP) yang menghindari kerugian SMP atau WDM dan mengeksplorasi derajat-kebebasan (DoFs) dalam ruang dan domain panjang gelombang secara bersama-sama. Kerangka umum untuk sistem *hybrid* MIMO yang bergantung pada ruang dan karakteristik yang bergantung pada panjang gelombang telah ditetapkan. Berdasarkan kerangka kerja ini, peneliti mengevaluasi kinerja sistem *Hybrid Multiplexing* (HMP) dengan tiga konfigurasi berbeda dan menunjukkan bahwa HMP berpotensi meningkatkan jumlah saluran *multiplexing* secara signifikan, sehingga mendukung kecepatan data yang lebih tinggi.

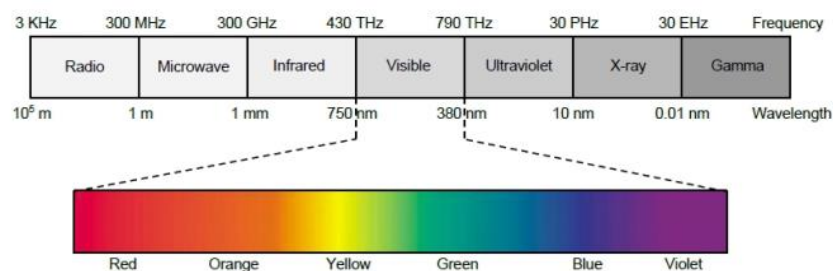
2.2 VISIBLE LIGHT COMMUNICATION (VLC)

Visible Light Communication (VLC) adalah sistem komunikasi optik terarah yang menggunakan jenis cahaya yang menggunakan rentang panjang gelombang tampak 380 nm hingga 750 nm yang distandarisi oleh *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*. Teknologi komunikasi ini memanfaatkan sumber cahaya yaitu LED sebagai *transmitter*, cahaya sebagai bentuk dari sinyal pembawa (*carrier*), dan *photodetector* sebagai *receiver*. Sistem VLC membantu melengkapi komunikasi *radio frequency* (RF) yang ada. Karena sistem VLC menggunakan LED sebagai perangkat sinyal dan juga untuk penerangan, maka memiliki beberapa keunggulan seperti efisiensi energi, keterjangkauan, dan daya tahan. Perkembangan VLC didukung oleh mereka yang menggunakan lampu LED sebagai penerangan pada ruangan yang dulunya menggunakan lampu neon (*fluorescent*) dan lampu pijar, sehingga sangat cepat dibandingkan dengan teknologi lainnya seperti *Radio Access Network* (RAN) dan Wi-Fi yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 RAN, Wi-Fi, dan VLC [7]

Gelombang radio telah dipelajari oleh berbagai penelitian dan penemuan sejak awal abad kesembilan belas. Hal ini menyebabkan sejumlah penemuan tentang sifat-sifat gelombang jenis ini, membawa beberapa teknologi baru ke dalam kehidupan sehari-hari orang-orang di seluruh dunia, mulai dari sumber daya militer hingga aplikasi medis. Efisiensi komunikasi radio telah meningkat pesat karena kemajuan dalam penelitian. Meskipun cahaya tampak sebagai bentuk media komunikasi telah menarik perhatian institusi akademik dan industri hanya selama dekade terakhir, masih kurang dieksplorasi jika dibandingkan dengan spektrum frekuensi radio dari spektrum elektromagnetik.



Gambar 2.2 Electromagnetic Spectrum [7]

Gambar 2.2 menunjukkan jangkauan spektrum elektromagnetik dari frekuensi rendah, di mana gelombang radio berada, hingga frekuensi yang lebih tinggi di mana radiasi gamma berada. Seperti yang kami tunjukkan sebelumnya, spektrum cahaya tampak berkisar dari 380 nm hingga 750 nm. Setiap informasi yang ditransfer dengan memodulasi gelombang cahaya dalam kisaran ini dapat

dianggap sebagai jenis komunikasi cahaya tampak. Penting untuk diperhatikan bahwa gelombang radio, yang mencakup teknologi Wi-Fi, mencakup frekuensi mulai dari 3 kHz hingga 300 GHz. Di sisi lain, frekuensi cahaya tampak bervariasi dari 430 THz hingga 790 THz, yang 10.000 kali lebih besar dari seluruh spektrum frekuensi radio.

Keuntungan utama dari VLC adalah penggunaan infrastruktur yang ada juga untuk menyediakan layanan komunikasi. Bola lampu LED, banyak digunakan akhir-akhir ini, sudah memainkan peran penerangan. Dengan VLC, bola lampu ini mengirimkan data melalui pencahayaan. Artinya, energi yang digunakan untuk komunikasi tidak akan menambah biaya. Selain itu, banyak penelitian beberapa tahun terakhir telah difokuskan pada penggunaan perangkat murah dalam implementasi sistem VLC, seperti menggunakan mikrokomputer (*beaglebone*) dan LED murah untuk pengembangan platform *open-source* untuk studi di daerah [8].

Keuntungan lain dari cahaya tampak adalah ukuran spektrum, dibandingkan dengan frekuensi radio. Alokasi frekuensi pada pita gelombang radio spektrum elektromagnetik sangat dibatasi, diatur oleh masing-masing negara, dan dikoordinasikan oleh lembaga telekomunikasi internasional. Dengan demikian, setiap negara memiliki regulasinya sendiri mengenai frekuensi yang dialokasikan untuk setiap jenis penggunaan, mulai dari penggunaan militer hingga siaran konten di radio AM dan FM. Sebagai teknologi yang relatif baru, perangkat Wi-Fi mengirimkan sinyal dalam dua pita: 2,4 GHz dan 5 GHz, keduanya terletak di wilayah spektrum yang ditujukan untuk perangkat yang tidak berlisensi. Namun, situasinya berbeda dengan cahaya. Spektrum cahaya tampak benar-benar gratis, menghasilkan beragam kemungkinan komersial dan akademis [9].

Karena sifat propagasinya, cahaya menawarkan keuntungan keamanan jika dibandingkan dengan gelombang radio. Ketika *access point* Wi-Fi dikonfigurasi, gelombang radio dapat merambat sesuai dengan kapasitas penyiaran antena, yang dapat mencapai ratusan meter. Dalam proses ini, gelombang melampaui dinding dan permukaan padat lainnya dan dapat menimbulkan risiko keamanan, karena upaya penyadapan dapat terjadi.

2.3 LIGHT FIDELITY (LI-FI)

Transfer data dari satu tempat ke tempat lain adalah salah satu kegiatan sehari-hari paling penting. Jaringan nirkabel saat ini yang menghubungkan kita dengan internet sangat lambat ketika beberapa perangkat terhubung. Karena jumlah perangkat yang mengakses internet meningkat, *bandwidth* tetap tersedia membuatnya semakin sulit untuk menikmati transfer data yang tinggi tarif dan terhubung ke jaringan yang aman. Tapi gelombang radio hanya sebagian kecil yang tersedia untuk transfer data. Solusi untuk masalah ini adalah dengan menggunakan Li-Fi. Li-Fi (*Light Fidelity*) itu sendiri didefinisikan sebagai transmisi data melalui iluminasi cahaya dengan mengambil serat dari serat optik dengan mengirimkan data melalui bola lampu LED yang bervariasi dalam intensitas lebih cepat dari pada yang dapat diikuti mata manusia [10].

Li-Fi adalah istilah yang digunakan beberapa orang untuk label kecepatan sistem komunikasi nirkabel murah yang merupakan optik versi WiFi. Li-Fi menggunakan cahaya bukan gelombang radio *Gigahertz* untuk transfer data. Ide Li-Fi diperkenalkan oleh seorang fisikawan Jerman, yaitu Harald Hass yang juga disebut sebagai “data melalui iluminasi (cahaya)”. Istilah Li-Fi pertama kali digunakan oleh Haas dalam bukunya TED global yang berbicara tentang *Visible Light Communication*. Menurut Harald Haas, cahaya yang disebut sebagai *D-Light* dapat digunakan untuk menghasilkan kecepatan data yang lebih tinggi dari 10 Mbps dan jauh lebih cepat daripada koneksi *broadband* rata-rata [11].

Tabel 2.1 Perbandingan antara Li-Fi dan Wi-Fi [5]

Fitur	Li-Fi	Wi-Fi
Standar IEEE	802.15.7	802.11b
Kecepatan transfer data	1-3.5 Gbps	54-250 Mbps
Area cakupan	10 meter	20-100 meter
Topologi	<i>Point-to-point</i>	<i>Point to multi-point</i>
Rentang spektrum	10000 kali dari Wi-Fi	Rentang spektrum radio
Topologi jaringan	<i>Point-to Point</i>	<i>Point-to-Multi Point</i>
Operasi	Transmisi data oleh LED bulb	Transmisi data oleh radio

Interferensi	Tidak ada interferensi terhadap gelombang radio	Interferensi dengan router AP sekitar
Media transfer data	Menggunakan cahaya sebagai <i>carrier</i>	Menggunakan spektrum radio
Frekuensi	kali dari Wi-Fi	Rentang spektrum radio
Pita frekuensi	100 THz	2.4 GHz, 4.9GHz and 5GHz
Keamanan	Lebih aman untuk transfer data	RF tidak dapat dicegah oleh dinding bata, oleh karena itu transmisi data keamanan kurang
Biaya	Lebih murah	Lebih mahal

Li-Fi dapat menjadi teknologi untuk masa depan dimana data untuk laptop, ponsel pintar, dan tablet akan ditransmisikan melalui cahaya di ruangan. Keamanan tidak akan jadi masalah karena jika seseorang tidak dapat melihat cahaya, maka tidak dapat mengakses data. Sebagai hasilnya, dapat digunakan di daerah-daerah militer keamanan yang tinggi dimana RF komunikasi adalah rawan terhadap penyadapan [12].

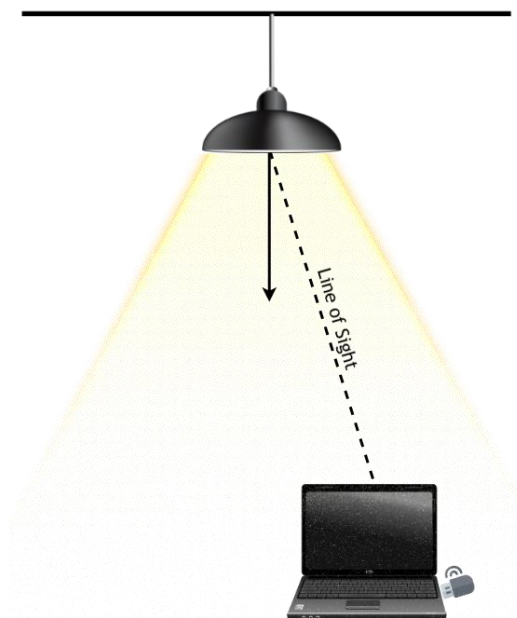
Li-Fi memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan teknologi pendahulunya Wi-Fi dan LTE yang masih menggunakan frekuensi radio, di antaranya yaitu:

1. Cahaya memiliki *bandwidth* 10.000 kali lebih lebar dari frekuensi radio sehingga kapasitas transfer data akan lebih baik daripada Wi-Fi.
2. Li-Fi menggunakan komunikasi cahaya tampak dan tidak memerlukan frekuensi.
3. Transmisi data melalui Li-Fi sangat murah karena LED menggunakan energi yang sangat sedikit.
4. Keamanan jaringan Li-Fi jauh lebih baik karena cahaya sulit untuk dapat menembus dinding, sehingga tidak ada yang dapat menyalahgunakan jaringan.
5. Masalah kekurangan *bandwidth* frekuensi radio dapat diselesaikan dengan menggunakan Li-Fi.
6. Menggunakan Li-Fi setiap lampu jalan dapat digunakan sebagai *access point* data gratis.

7. Jika di bawah air, Wi-Fi tidak akan berfungsi sama sekali, sedangkan Li-Fi masih dapat digunakan untuk transmisi data [13].

Komunikasi Li-Fi dimodelkan setelah protokol komunikasi yang dikembangkan oleh IEEE 802 *workgroup*. Standar ini mendefinisikan *Physical Layer* (PHY) dan *Media Access Control* (MAC) *Layer*. Standar ini dapat memberikan kecepatan data yang cukup untuk memberikan layanan audio, video, dan multimedia. Hal ini memungkinkan mobilitas transmisi optik yang kompatibel dengan pencahayaan buatan dimana berada di infrastruktur yang dapat disebabkan oleh gangguan yang dihasilkan oleh pencahayaan sekitar. Lapisan MAC dapat menggunakan koneksi dengan lapisan lain seperti protokol TCP/IP.

Penggunaan optik nirkabel baru berkecepatan tinggi baik dalam model indoor maupun outdoor. Li-Fi menyediakan sumber daya bagi pengembang OEM dan ODM untuk menciptakan produk baru yang menarik. Dengan munculnya koneksi kabel berkecepatan tinggi seperti *Thunderbolt* dan USB 3.0, keduanya menjadi setara dengan koneksi nirkabel. Sedangkan WiFi sangat populer dengan kecepatan 100 Mbps, tetapi nirkabel optik multi-gigabit jarak pendek menawarkan solusi RF gigabit WiGig alternatif yang diusulkan [14].

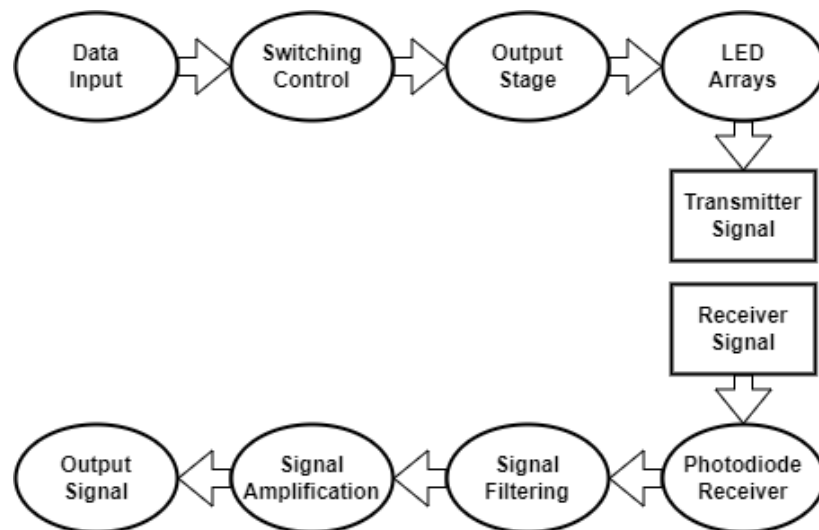


Gambar 2.3 Pemancar dan Penerima pada *Indoor* Li-Fi

Gambar 2.3 menunjukkan teknologi Li-Fi yang menggunakan prinsip *Visible Light Communication* (VLC) dengan posisi secara *Line of Sight*. Di sini

prinsip kerjanya sangat sederhana, jika *bulb on* maka Digital 1 ditransmisikan, sebaliknya jika *bulb off* maka Digital 0. LED dapat *on* dan *off* sangat sering menyebabkan sinyal berkedip yang digunakan untuk transmisi sinyal di seluruh perangkat. Dalam model Li-Fi, salah satu ujungnya terdiri dari pemancar cahaya (LED) dan di ujung yang lain yaitu ujung penerima memiliki detektor cahaya (*Photodiode*). *Photodiode* mendapatkan biner 1 ketika LED *on* dan biner 0 jika *off*. Gambar 2.4 menunjukkan diagram blok yang menunjukkan aliran sinyal model teknologi Li-Fi dasar.

Encoding dan *Decoding* data yang terlibat dalam komunikasi saat mengirim atau menerimanya, adalah salah satu langkah terpenting yang harus diikuti untuk mencapai transmisi bebas kesalahan. Oleh karena itu, dapat digunakan berbagai teknik *Encoding* atau *Decoding* seperti 4B/5B, *Non Return to Zero (NRZ)*, *Manchester*, *Differential Manchester*, dan lain-lain dengan bit kuantisasi khusus. Untuk mencapai ini, hanya perlu mikrokontroler dan *transceiver* yang secara teoritis dapat mencapai kecepatan 10 Gbps [13].



Gambar 2.4 Blok Diagram Aliran Sinyal Li-Fi

Sama halnya seperti teknik *Encoding* dan *Decoding*, teknik modulasi dan demodulasi juga sangat penting dalam komunikasi. Karena terdapat berbagai teknik modulasi, masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan dalam menggunakannya. Beberapa teknik modulasi yang paling sering dan umum

digunakan tercantum di bawah ini yang dapat terbukti efektif bila digunakan untuk modulasi sinyal Li-Fi yaitu [13]:

1. PPM (*Pulse Position Modulation*) adalah modulasi di mana pesan dikodekan dengan mentransmisikan satu pulsa dalam periode waktu yang diperlukan. Hal ini pada dasarnya paling efektif bila digunakan dalam OCS (*Optical Communication System*).
2. PWM (*Pulse Width Modulation*) didefinisikan sebagai teknik untuk mengkodekan data menjadi sinyal pulsa, fungsi utamanya adalah untuk dapat mengontrol catu daya perangkat dan memuat inersia motor. PWM dapat mengirimkan beberapa bit data dalam satu pulsa.
3. OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) digunakan sebagai multi *carrier* digital untuk mengkodekan data digital pada beberapa frekuensi *carrier*. Ada sejumlah besar *sub-carrier* yang berjarak dekat dan masing-masing dimodulasi dengan skema termodulasi konvensional pada kecepatan simbol yang rendah.
4. SIM-OFDM (*Sub carrier Index Modulation OFDM*) adalah modulasi yang menggunakan *sub carrier* untuk mentransfer informasi ke penerima, membagi *bitstream* serial menjadi dua *sub stream*.
5. OOK (*ON OFF Keying*) adalah bentuk paling sederhana dari modulasi penguncian pergeseran amplitudo dan mewakili data digital sebagai ada atau tidak adanya gelombang pembawa. Pada bentuk paling sederhana, adanya sinyal *carrier* didefinisikan sebagai biner 1 dan jika tidak ada sinyal *carrier* dilambangkan sebagai biner 0. Sangat mudah untuk menghasilkan dan mendekodekan sinyal menggunakan OOK tetapi sangat optimal terhadap kontrol iluminasi dan *throughput* data.

2.4 LIGHT EMITTING DIODE (LED)

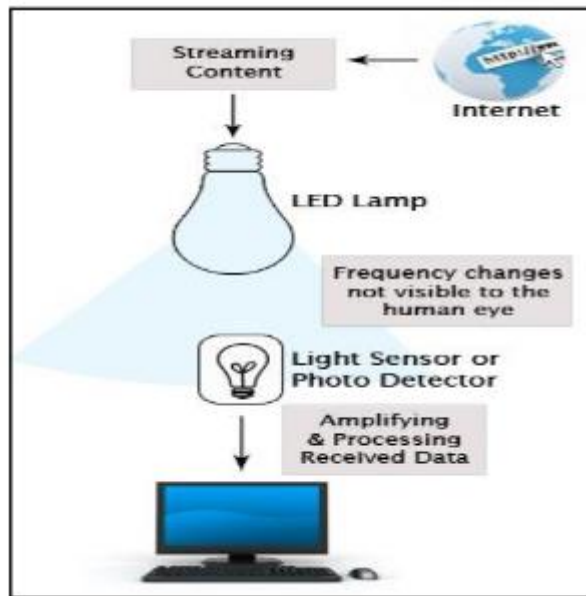
LED adalah dioda yang terbuat dari bahan semikonduktor yang dapat memancarkan cahaya. Bahan semikonduktor yang digunakan dalam LED termasuk *galium*, *arsenide*, atau fosfor, dan berbagai jenis bahan menentukan warna cahaya yang dipancarkan oleh LED. Warna LED yang berbeda menyebabkan panjang gelombang cahaya yang berbeda sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.3 [10]

[15]. Dengan kata lain, warna LED yang berbeda menentukan panjang gelombang dan senyawa semikonduktor yang digunakan.

Tabel 2.2 Panjang Gelombang LED [15]

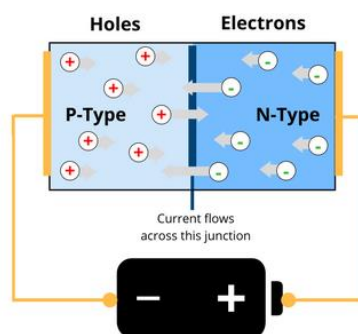
Material Semikonduktor	Panjang Gelombang	Warna
GaAs – Gallium Arsenide	850 – 940 nm	Infra-red
GaAsP – Gallium Arsenide Phosphide	630 – 660 nm	Merah
GaAsP – Gallium Arsenide Phosphide	605 – 620 nm	Amber
GaP – Gallium Phosphide	585 – 595 nm	Kuning
InGaAlP – Indium Gallium Aluminum Phosphide	550 – 570 nm	Hijau
SiC – Silicon C	430 – 505 nm	Biru
GaN – Gallium Nitride	450 nm	Putih

Panjang gelombang LED digunakan untuk membedakan antara LED warna, UV, dan *Infra Red*, tetapi bukan LED putih. LED putih dapat terlihat *cool*, netral, atau hangat tergantung pada suhu LED, yang diukur dalam Kelvin (K). Panjang gelombang LED ditentukan oleh bahan semikonduktor yang digunakan. Saat memilih LED, nilai panjang gelombang memberi tahu Anda warna cahaya yang dipancarkan LED. [16]. Komunikasi cahaya tampak biasanya menggunakan LED putih sebagai sumber cahaya. LED putih memiliki konsumsi daya yang lebih rendah, kecerahan yang lebih tinggi, dan masa pakai yang lebih lama dibandingkan dengan sumber cahaya tradisional seperti lampu pijar (incandescent) dan lampu neon (fluoresen). Ada dua jenis LED yang tersedia di pasaran yang menghasilkan cahaya putih untuk penerangan yaitu LED berbasis fosfor kekuningan (*yellowish phosphor*) dan LED RGB. LED berbasis fosfor memiliki lumen per *watt* yang lebih tinggi daripada LED RGB, lebih murah dan lebih kompleks [17].



Gambar 2.5 Transmisi data oleh LED [9]

Prinsip kerja LED adalah mengubah sebagian besar energi listrik menjadi cahaya. Cahaya adalah jenis energi yang dipancarkan oleh atom yang muncul dari banyak partikel kecil energi dan momentum yang disebut foton, unit utama cahaya. Foton adalah hasil dari pergerakan elektron-elektron. Panjang gelombang cahaya yang dipancarkan tergantung pada tingkat energi yang berbeda dan jenis bahan semikonduktor yang digunakan dalam chip LED. LED adalah salah satu jenis dioda yang terbuat dari bahan semikonduktor. LED bekerja seperti dioda dengan dua kutub, positif (P) dan negatif (N). LED memancarkan cahaya ketika tegangan maju (bias maju) diterapkan dari anoda ke katoda [18].



Gambar 2.6 P-type dan N-type Saat Menghasilkan Cahaya [18]

LED sendiri terdiri dari sebuah *chip* semikonduktor yang di *dopping* sehingga terciptalah *junction* P dan N. Arti dari proses *dopping* yaitu proses untuk penambahan ketidakmurnian (*impurity*) pada semikonduktor yang masih murni.

Proses tersebut akan menghasilkan karakteristik kelistrikan yang diinginkan. Saat LED dialiri tegangan maju (*forward bias*) dari Anoda (P) ke Katoda (K), maka elektron yang berlebih pada *type-N* akan berpindah ke wilayah yang lain yang lebih banyak *hole* (lubang) yaitu wilayah yang bermuatan positif (*type-P*). Saat elektron dan *hole* bertemu, maka akan terjadi proses pelepasan foton dan memancarkan cahaya monokromatik atau cahaya dengan satu warna [18].

2.5 PHOTODETECTOR

Photodetector didefinisikan sebagai perangkat yang cukup sensitif terhadap cahaya, dimana sinyal cahaya yang diterima oleh sinyal foton diubah menjadi sinyal listrik. Sumber cahaya di sisi pemancar (*transmitter*) mengubah sinyal listrik menjadi sinyal optik seperti LED ataupun laser. Pada sisi penerima, masukan yang berasal dari sinyal optik dikonversi kembali dari domain optik menjadi domain listrik. Konversi tersebutlah yang dikerjakan menggunakan perangkat *photodetector*. Syarat dari perangkat *photodetector* yaitu sensitifitas yang tinggi, *noise* yang rendah, respon cepat, tidak sensitif terhadap suhu, kompatibel dengan sumber cahaya, murah, dan tahan lama [19].

Dalam komunikasi serat optik sendiri terdapat dua jenis *photodetector* yaitu *Positive-Intrinsic-Negative* (PIN) *diodes* dan *Avalanche Photodiodes* (APD *diodes*). PIN *diode* merupakan salah satu jenis *photodetector* yang digunakan untuk mengubah sinyal optis menjadi sinyal elektris. PIN *diode* terdiri dari tiga wilayah yaitu P-*region*, I-*region*, dan N-*region*. Kedua daerah P dan N di *dopping* karena digunakan untuk kontak *Ohmic*. I-*region* memiliki wilayah yang luas dibandingkan wilayah P dan N, sehingga resistansinya yang tinggi menyebabkan sebagian besar tegangan *reverse bias* diterapkan di wilayah ini [19].

Avalanche photodiode (APD) merupakan salah satu jenis *photodetector* yang didesain beroperasi pada tegangan bias terbalik (*reverse bias*) yang sangat tinggi. Dimana cara kerja komponen tersebut menghasilkan efek melipat-gandakan elektron sama seperti cara kerja *photomultiplier tube*. Tegangan *reverse bias* yang sangat tinggi yaitu sekitar 10 Volt sampai dengan 2000 Volt, mempercepat proses perubahan elektron menjadi pasangan *electron-hole* pada daerah instrinsik. Sehingga APD memiliki kecepatan yang cukup pada pembawa tambahan

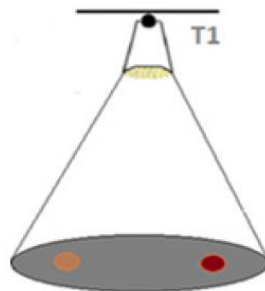
(*additional carriers*) dari proses benturan dengan kisi-kisi krista sehingga lebih banyak elektron yang dihasilkan dari sebuah proton. Dalam kecepatan tinggi, APD lebih unggul dibandingkan dengan PIN dioda, tetapi tidak untuk digunakan pada aplikasi kecepatan rendah. Biaya APD tergolong sangat mahal, kira-kira sama dengan tabung *photomultiplier* [20].

2.6 LED PANEL

Pada sistem komunikasi *Indoor* Li-Fi, area cakupan untuk sistem komunikasi ditentukan oleh LED Panel (LP) yang digunakan. LED *Panel* adalah tata letak dari LED yang nantinya akan mentransmisikan cahaya. Pada sebuah sistem komunikasi Li-Fi, terdapat tiga LED *Panel* yang digunakan yaitu *Fixed* LP (LED Panel Tetap), *Moveable* LP (LED Panel Bergerak) dan *Hybrid* LP (LED Panel Hibrida) .

1. *Fixed* LED Panel

Fixed LP atau LED Panel yaitu memancarkan cahaya tegak lurus seperti yang ditunjukkan pada Gambar dibawah ini [2]:

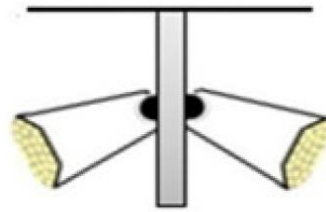


Gambar 2.7 *Fixed* LED Panel [2]

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 dapat lebih fokus. *Fixed* LP memancarkan cahaya secara vertikal, memungkinkan pengguna untuk mengakses Li-Fi sesuai dengan posisi cahaya. Cakupan pada *Fixed* LP tetap lebih lebar dari *Moveable* LED *Panel* karena tidak ada sudut kemiringan LED Panel dalam emisi cahaya, sehingga emisi cahaya dapat lebih terkonsentrasi.

2. *Moveable* LED Panel

Moveable LED Panel bergerak memancarkan cahaya yang tidak tegak lurus atau memiliki sudut kemiringan tertentu seperti pada Gambar 2.8 berikut:

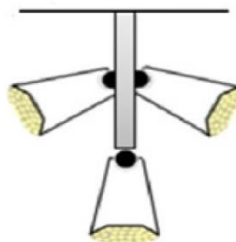


Gambar 2.8 *Moveable* LED Panel [2]

LED Panel yang dapat dipindahkan dapat dilihat dengan bola lampu yang memancar dan diputar pada sudut tertentu untuk menyesuaikan area jangkauan sesuai dengan kebutuhan penempatan sisi *receiver*. Pada Gambar 2.8 di atas, area jangkauan pemancar dikendalikan dengan memutar LED melalui sudut tertentu. Terdapat dua sudut yang perlu diperhatikan, yaitu sudut penyinaran (*irradiance*) dan sudut insiden (*incidence*). Sudut penyinaran adalah sudut pancaran terhadap normal, dan sudut insiden adalah sudut penerimaan terhadap sumbu penerima. Penggunaan *LED Panel* untuk memperkirakan jumlah cahaya dapat dikontrol menggunakan sudut pancaran tertentu, sehingga jarak antara penerima dan pemancar juga dapat dikontrol untuk kinerja penerimaan yang maksimal.

3. *Hybrid* LED Panel

Hybrid LED Panel atau LED Panel Hibrida adalah gabungan dari *Fixed* LP dan *Moveable* LP yang memancarkan cahaya tegak lurus memiliki sudut kemiringan seperti ilustrasi yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 berikut:

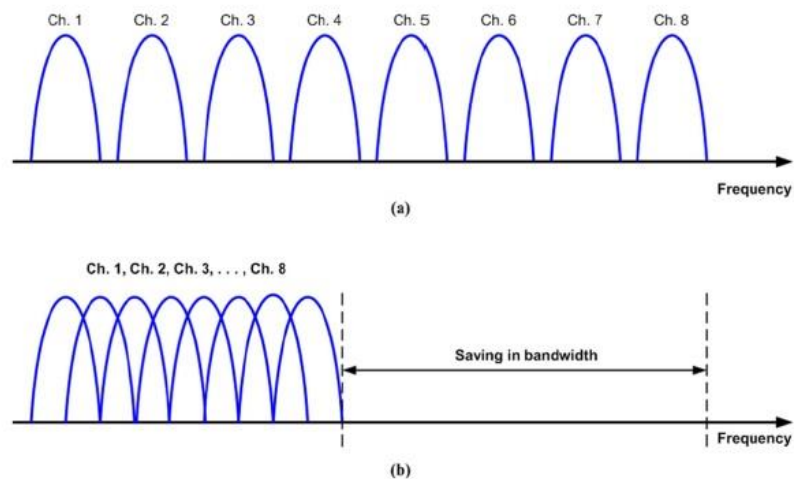


Gambar 2.9 *Hybrid* LED Panel [2]

Hybrid LED Panel merupakan gabungan dari kedua *LED Panel* yaitu *Fixed LP* dan *Moveable LP* yang memberikan cakupan area yang lebih luas lagi. Sehingga pada proses tranmisi data dapat dimaksimalkan dengan mengikuti sinar yang dipancarkan ke penerima.

2.7 OFDM (ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING)

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) adalah sebuah teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi (*multicarrier*) yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Masing-masing subcarrier tersebut dimodulasikan dengan teknik modulasi konvensional pada rasio simbol yang rendah. Prinsip dari sistem OFDM itu sendiri adalah merubah bit pengiriman informasi yang tadinya berbentuk serial menjadi beberapa bentuk aliran paralel dengan kecepatan bit lebih rendah. Pada pengiriman data serial, tiap bit hanya mempunyai durasi satu detik. Sedangkan jika pengiriman data dengan menggunakan OFDM, data tersebut akan dibagi menjadi paralel dan dikirim secara bersamaan sehingga waktu yang diperlukan oleh tiap bit adalah empat detik. Durasi yang lebih lama tersebut akan mengurangi masalah *Intersymbol Interference* (ISI) [21]. Prinsip *orthogonal* menunjukkan adanya hubungan matematis antar frekuensi *subcarrier* pada sistem. OFDM menggunakan spektrum yang saling overlap antara subcarrier yang satu dengan *subcarrier* lain tanpa terjadinya interferensi pada sinyal yang diterima. Sehingga sistem OFDM dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi bandwidth serta yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 dibawah ini.



Gambar 2.10 Model Spektrum *Subcarrier* OFDM

Sedangkan cara kerja dari sistem OFDM adalah sejumlah deretan data informasi yang dikirim akan dikonversikan terlebih dahulu kedalam bentuk paralel, sehingga jika *bit rate* semula adalah B, maka bit rate untuk setiap jalur paralel adalah B/N dimana N merupakan jumlah jalur paralel (jumlah *subcarrier*). Sinyal yang terkirim dapat diekspresikan dengan persamaan matematis sebagai berikut:

$$s(t) = \text{Re} \left\{ \sum_{n=-\infty}^{+\infty} b_n f(t - nT) e^{j(\omega_0 t + \theta)} \right\} \quad (2.1)$$

Dimana:

$\text{Re}(\cdot)$ = bagian real dari persamaan

b_n = data informasi yang telah dimodulasi dan menjadi input untuk IFFT

$f(t)$ = respon impuls dari filter transmisi

T = periode simbol

ω_0 = frekuensi pembawa (*frequency carrier*)

2.7.1. Sistem Modulasi OFDM

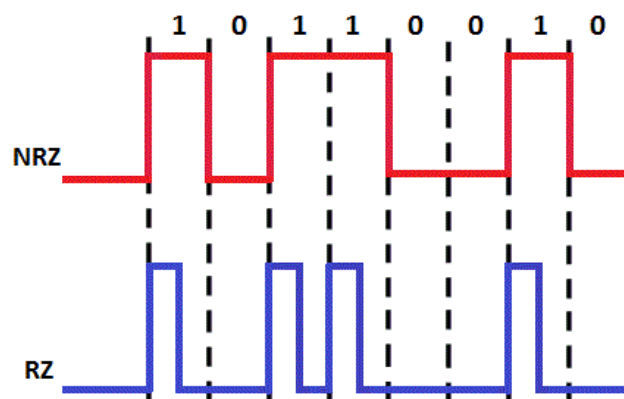
Modulasi dapat didefinisikan sebagai proses perubahan (*varying*) suatu gelombang periodik sehingga menjadikan suatu sinyal mampu membawa suatu informasi. Dengan proses modulasi, suatu informasi biasanya frekuensi rendah bias berupa gelombang sinus berfrekuensi tinggi. Terdapat tiga parameter kunci pada suatu gelombang sinusoidal yaitu *amplitude*, fase, dan frekuensi. Ketiga parameter tersebut dapat dimodifikasi sesuai dengan sinyal informasi (berfrekuensi rendah) untuk membentuk sinyal yang termodulasi.

Dalam proses modulasi, fase dari frekuensi gelombang pembawa berubahubah sesuai dengan perubahan status sinyal informasi digital. Sudut fase harus mempunyai acuan kepada pemancar dan penerima. Akibatnya, sangat diperlukan stabilitas frekuensi pada pesawat penerima. Guna memudahkan untuk memperoleh stabilitas pada penerima, kadang-kadang dipakai suatu teknik yang koheren dengan PSK yang berbeda-beda. Hubungan antara dua sudut fase yang

dikirim digunakan untuk memelihara stabilitas. Dalam keadaan seperti ini, fase yang ada dapat dideteksi bila fase sebelumnya telah diketahui.

2.8 LINE CODING

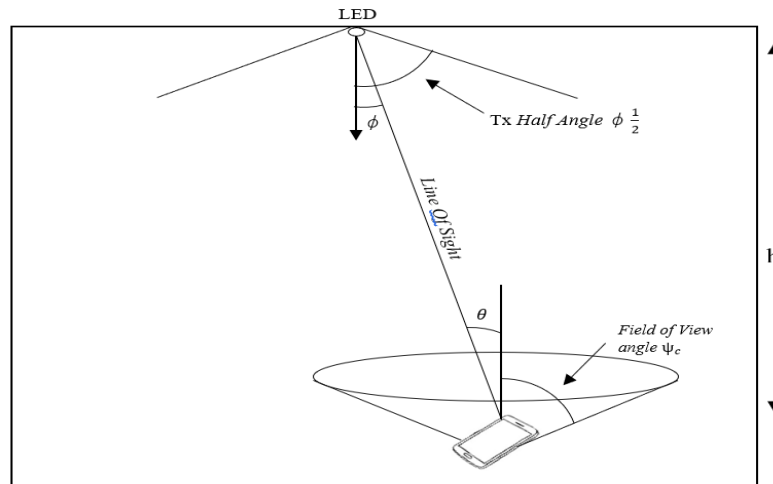
Line coding adalah suatu proses pengkodean sinyal dengan memakai simbol bit 0 dan bit 1. Line coding yang ada pada sistem komunikasi serat optik termasuk pada bit-bit informasi yang ditransmisikan, terdapat line coding yang sering digunakan yaitu *Return to Zero (RZ)* dan *Non Return to Zero (NRZ)*.



Gambar 2.11 Pengkodean NRZ dan RZ

2.9 PARAMETER KINERJA SISTEM

Adapun parameter-parameter yang digunakan pada pengukuran serta pengujian kinerja dari teknologi *Indoor Li-Fi* yang berguna untuk menentukan apakah sistem komunikasi bekerja dengan baik atau tidak. Parameter tersebut ada dalam rangkaian sistem *Indoor Li-Fi* pada *Software Optisystem* yang akan digunakan dalam penelitian.



Gambar 2.12 Parameter LOS Channel [15]

Gambar 2.12 diatas menunjukkan parameter-parameter yang nantinya bekerja dalam sebuah sistem LOS channel. Parameter yang ada pada Indoor LOS Channel diantaranya adalah:

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

2.10 HUKUM LAMBERTIAN

Pancaran cahaya dari sebuah LED yang dikelilingi oleh sebuah lamp bulb diasumsikan sebagai radiasi Lambertian karena sesuai dengan Lambertian Cosine

Law. Lambertian *radian intensity* adalah fluks yang dipancarkan atau dipantulkan, yang diterima oleh per nit *solid angle*, di mana fluks yang dipancarkan oleh per satuan luas. Sehingga intensitas fluks Lambertian ditulis [22]:

$$R_0 = \left(\frac{m+1}{2\pi} \right) \cos^m \theta \quad (2.1)$$

$$m = \frac{-\ln 2}{\ln(\cos \phi \frac{1}{2})} \quad (2.2)$$

Untuk *Transmitter Half Angle* = 60° (*default*), $m=1$ (*Lambertian transmitter*). Dimana θ adalah Radiation Angle and m merupakan Lambertian order yang diperoleh dari persamaan (2.2) dan variabel $\theta_{\frac{1}{2}}$ merupakan nilai *transmitter semi-angle at half power*. Jika diasumsikan pola pancaran *lamp driver* menggunakan LED adalah *emitting symmetrical radiation*, maka besaran radiasinya adalah daya pancaran LED dikalikan dengan intensitas fluks Lambertian. Radiasi yang dipancarkan akan diterima oleh sebuah *photodetector* dengan sudut penerimaan tertentu. Nilai besaran daya per luasan terima W/cm^2 dapat mengacu pada persamaan (2.2), sehingga dapat dirumuskan seperti persamaan (2.3).

$$I_s[d, \theta] = \frac{P_t \times R_0(\theta)}{d^2} \quad (2.3)$$

d adalah jarak antara LED dan penerima. Sehingga besaran daya yang diterima dapat dihitung menggunakan nilai persamaan (9);

$$P_r = I_s[d, \theta] \times A_{eff}(\psi) \quad (2.4)$$

dimana A_{eff} terkait dengan struktur penerima yang terdiri dari sebuah filter, dan lensa yang memiliki penguatan dan luasan area detektor yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$A_{eff}(\psi) = \begin{cases} A_{det} T_s(\psi) g(\psi) \cos(\psi) & 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0 & \psi > \psi_c \end{cases} \quad (2.5)$$

sedangkan A_{det} adalah luas detektor, T_s adalah penguatan transmisi filter, g adalah penguatan lensa, ψ_c adalah FOV penerima dan ψ merupakan sudut datang terhadap

sumbu penerima. Penguatan lensa dihitung dengan persamaan (11) dimana n merupakan indeks bias konsentrator.

$$g(\psi) = \begin{cases} \frac{n^2}{\sin^2 \psi_c} & 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.6)$$

$$H(0)_{LOS} = \begin{cases} \frac{(m+1)A}{2\pi d^2} \cos^m(\theta) \Gamma_s(\psi) g(\psi) \cos(\psi) & 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0 & \psi > \psi_c \end{cases} \quad (2.7)$$

$$P_r = \begin{cases} \frac{P_t(m+1)A_{det}}{2\pi d^2 \sin^2 \psi_c} \cos^m(\theta) \Gamma_s(\psi) n^2 \cos(\psi) & 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0 & \psi > \psi_c \end{cases} \quad (2.8)$$

Dengan menggunakan pertimbangan yang sama, maka penguatan saluran DC pada pemantulan pertama dapat dirumuskan pada persamaan (2.7). Sehingga nilai daya terima dapat diketahui dengan melakukan substansi pada persamaan (2.4), dan dapat dirumuskan pada persamaan (2.8).