

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka ini bersifat akademik dengan tujuan untuk menyelesaikan permasalahan. Teori yang dibahas adalah tentang *free space optic*, *visible light communication*, sistem kerja *Light Emitting Diode* (LED) dan *photodiode*, karakteristik *Light Emitting Diode* (LED) dan *photodiode*, pengertian *viewing angle*, *noise* pada *photodiode*, parameter performansi sistem VLC yang terdiri dari *optical power loss*, *signal to noise ratio* (SNR), dan *delay*, serta perangkat lunak dan perangkat keras sistem VLC.

#### 2.1 *Free Space Optic*

*Free Space Optic* (FSO) adalah komunikasi yang menggunakan gelombang carrier optik untuk transmisi data. Keuntungan dari teknologi ini adalah *bit rate* yang tinggi, operasi non-lisensi, instalasi relatif mudah, biaya yang relatif rendah. Secara umum, komunikasi optik memiliki potensi yang besar dan diharapkan akan menggantikan beberapa jaringan radio di masa depan (Vitasek, 2014). Rumus untuk mencari daya yang diterima pada *receiver* diberikan oleh persamaan bawah : (Soni dan Banga, 2013)

$$P_R = P_T \left( \frac{A_{RX}}{(\theta L)^2} \right) \cdot e^{-\alpha L} \quad (2.1)$$

di mana :

- PR : daya pada *Receiver* (dBm)
- PT : power at the *transmitter* (dBm)
- ARX : *receiver aperture area* (m<sup>2</sup>)
- $\theta$  : *divergence angle* (mrad)
- $\alpha$  : *atmospheric attenuation* (dB)
- L : jarak antara *transmitter* and *receiver* (m)

Berdasarkan persamaan (2.1) hubungan daya pada *receiver* dengan sudut *divergence transmitter* dan *receiver* berbanding terbalik. Sehingga semakin besar sudut *divergence* maka daya pada *receiver* semakin kecil. Sedangkan hubungan daya pada *receiver* dengan luas area aktif photodetektor berbanding lurus. Sehingga semakin besar luas area aktif photodetektor daya pada *receiver* semakin besar.

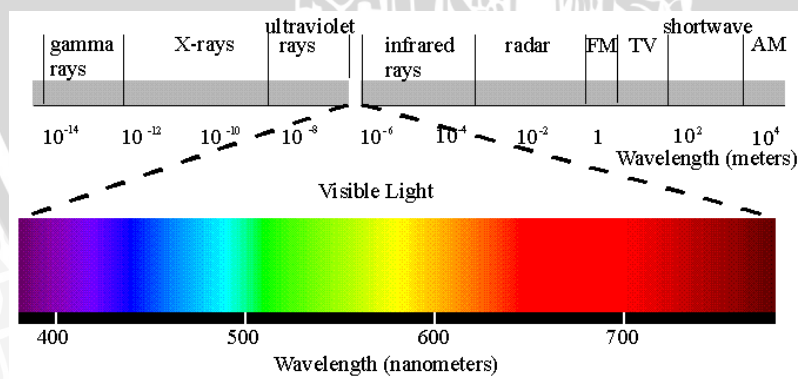
Kinerja FSO dapat dianalisis dengan mencari rugi daya optik atau attenuasi. Sebuah metode standar dan mudah untuk mengukur *optical power loss* melalui jaringan FSO adalah dengan membandingkan daya penerima dengan daya pemancar. Sehingga dapat dengan mudah mengetahui attenuasi sinyal atau amplifikasi dalam hal rasio power logaritmik yang diukur dalam *decibel* (dB). Unit dB didefinisikan oleh: (Keiser, 2015)

$$\text{Power ration in dB} = 10 \log \frac{P_2}{P_1} \quad (2.2)$$

Dimana  $P_1$  adalah daya pemancar dan  $P_2$  adalah kekuatan penerima. Log pada persamaan ini adalah basis 10 algoritma. Sifat logaritmik dari *decibel* yang memungkinkan rasio yang besar dinyatakan secara sederhana.

## 2.2 Visible Light Communication (VLC)

*Visible Light Communication* (VLC) merupakan jenis komunikasi optik menggunakan cahaya tampak LED yang memiliki panjang gelombang spektrum berkisar antara 380 nm - 700 nm. Informasi akan diubah menjadi bit-bit melalui beberapa skema pengkodean oleh mikrokontroler dan akan dikirimkan menggunakan cahaya LED. *Photodiode* pada penerima akan mendeteksi fluktuasi dalam LED pada *transmitter* dan akan mengirimkan sinyal ke mikrokontroler yang tersambung pada komputer sehingga dapat mengetahui informasi apa yang telah dikirim (Barney, 2014).



Gambar 2.1 Spektrum Cahaya Tampak

(Sumber : <http://blog.stikom.edu>, 2015)

Meninjau dari teknologi VLC tersebut maka sangatlah mungkin apabila selain untuk penerangan lampu ruangan (LED) juga dapat digunakan sebagai media transmisi. Penggunaan VLC sebagai media komunikasi memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan penggunaan gelombang elektromagnetik. Beberapa keuntungan tersebut adalah



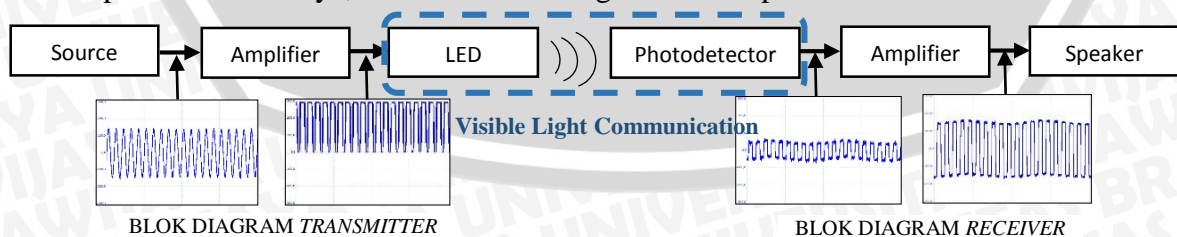
teknologi VLC aman untuk kesehatan manusia yang sudah ditinjau dari beberapa aspek. Selain itu, teknologi ini akan menghindarkan terjadinya interferensi dengan perangkat lain yang menggunakan gelombang elektromagnetik. Selain itu VLC bebas untuk digunakan karena hingga saat ini tidak adanya regulasi dari pemerintah.



Gambar 2.2 *Visible Light Communication*

(Sumber : [www.hwcomms.com](http://www.hwcomms.com) , 2015)

VLC memiliki dua komponen utama, yaitu komponen *transmitter* dan *receiver* yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Pada *transmitter* digunakan *Light Emitting Diode* (LED), sedangkan pada *receiver* digunakan *photodetector*. Untuk mentransmisikan informasi, VLC menggunakan LED sebagai *transmitter* yang akan mengirimkan informasi melalui media udara ke *receiver*. Kemudian pada *receiver*, cahaya dari LED yang merupakan pembawa informasi akan ditangkap oleh *photodetector*, kemudian *photodetector* akan mengubah cahaya dari LED menjadi listrik yang akan diolah di *receiver* sehingga informasi yang dikirimkan akan sampai di *receiver*. Untuk transmisi data suara terbaik, LED di sisi pemancar harus sejajar dengan *photodetektor* di sisi penerima. Kemudian sinyal yang diterima pada *photodetektor* dibawa ke unit amplifikasi. Akhirnya, nada musik terdengar melalui speaker.



Gambar 2.3 Blok Diagram Sistem *Visible Light Communication*

(Sumber : Perancangan,2015)

Cara kerja sistem *Visible Light Communication* dimulai dari source yang membangkitkan sinyal input berupa sinyal audio dalam bentuk sinyal listrik, kemudian sinyal tersebut diteruskan melalui kabel *audio jack* ke rangkaian penguat (*amplifier*). Setelah itu sinyal audio yang berupa sinyal listrik akan diubah menjadi sinyal cahaya melalui LED. LED mentransmisikan informasi berupa sinyal cahaya yang akan ditangkap oleh *photodetector*. *Photodetector* atau detektor optik tersebut berfungsi untuk merubah sinyal cahaya menjadi sinyal listrik.

Sinyal listrik yang dihasilkan oleh detektor optik selanjutnya akan dikuatkan kembali oleh rangkaian penguat pada sisi *receiver*. Dan yang terakhir sinyal listrik yang sudah dikuatkan akan diubah menjadi sinyal suara oleh speaker sehingga data berupa sinyal suara yang sudah dikirimkan bisa di dengar di sisi *receiver*.

Spektrum cahaya tampak tersedia di mana-mana dan sangat berlimpah, sehingga memberikan kita beberapa peluang untuk menerapkan komunikasi cahaya tampak. Beberapa aplikasi potensial VLC adalah:

- a) Konektivitas. Sebuah data link dengan kecepatan sangat tinggi yang memiliki keamanan yang baik dapat dibuat menggunakan cahaya tampak. Hal ini dapat memberikan data rate yang lebih tinggi daripada Wi-Fi atau Bluetooth.
- b) Ekspansi Wi-Fi. Wi-Fi tidak mampu memenuhi tuntutan untuk transmisi data dan komunikasi. VLC memberikan kecepatan data yang lebih tinggi daripada Wi-Fi saat ini dan itu juga dengan biaya yang sangat rendah karena antenna mahal dan komponen RF lainnya dieliminasi.
- c) Kesesuaian dengan Lingkungan. VLC menyediakan komunikasi yang cocok dan aman untuk daerah yang berbahaya dan memiliki risiko ledakan seperti pabrik kimia, tambang, bensin dan pompa bensin dan lain-lain.
- d) Pertahanan Negara. Data dapat ditransfer dengan cara yang aman dengan VLC dan juga bahwa cahaya tampak tidak bisa menembus dinding, sehingga dapat menjaga data dengan aman, yang merupakan fitur kunci untuk membuatnya berguna untuk pertahanan dan keamanan negara.
- e) Bawah Air. *Visible Light Communication* dapat menyediakan komunikasi kecepatan tinggi untuk jarak pendek di bawah air sedangkan sinyal RF tidak dapat bekerja di dalam air. Ini bisa menjadi keuntungan bagi para penyelam bawah air atau kapal selam dan kendaraan lainnya untuk berkomunikasi.



- f) Kesehatan. VLC dapat diaplikasikan di rumah sakit dimana sinyal RF harus dijauhkan dari pasien yang sedang dioperasi, terutama jauh dari MRI scanner.

### 2.3 Light Emitting Diode (LED)

*Light Emitting Diode* (LED) yaitu *diode* yang dapat memancarkan cahaya monokromatik, biasa digunakan sebagai lampu indikator dengan kelebihan yaitu umur aktifnya sangat lama jika dibandingkan dengan lampu pijar. Woollard (1993:60). LED (*Light Emitting Diode*) dapat memancarkan cahaya karena menggunakan doping *galium*, *arsenic* dan *phosphorus*. Jenis doping yang berbeda menghasilkan warna cahaya yang berbeda pula. LED (*Light Emitting Diode*) merupakan salah satu jenis *diode*, sehingga hanya akan mengalirkan arus listrik satu arah saja. LED akan memancarkan cahaya apabila diberikan tegangan listrik dengan konfigurasi *forward bias*.

LED lebih efisien dibandingkan dengan sumber optik lainnya yaitu *Laser Diode* (LD). Jika dibandingkan dengan LD, LED lebih cocok digunakan untuk komunikasi jarak dekat dan sebagai media penerangan. Hal ini ditunjukkan pada Tabel 2.1 dibawah ini:

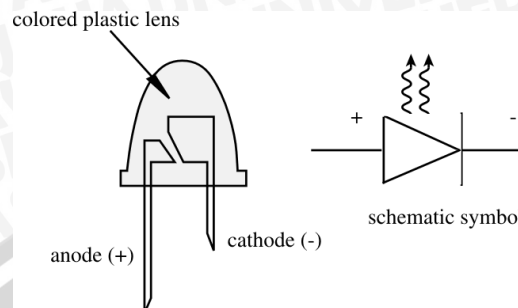
Tabel 2.1. Perbandingan LED dan Laser

Karakteristik	LED	LASER
Spektrum keluaran	Tidak koheren	Koheren
Daya optik keluaran	(0,4-4,0 mW)	(1,5-8,0mW)
Kestabilan operasi terhadap temperature	Stabil	Kurang stabil
Penguatan cahaya	Tidak ada	Ada
Arah pancaran cahaya	Kurang terarah	Sangat terarah
Arus pacu	Kecil	Besar
Rongga Resonansi optik	Tidak ada	Ada
Disipasi panas	Kecil	Besar
Harga	Lebih murah	Mahal
Kecepatan ( <i>rise time</i> )	Lebih lambat (2-10 ns)	Lebih cepat (0,3-0,7 ns)
Kompatibilitas dengan <i>single mode</i>	Tidak	Ya

(Sumber : [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com), 2015)

LED akan aktif jika pada anoda dan katoda LED terdapat beda potensial sebesar 2 V dengan arus yang mengalir ke LED sebesar 20 mA. Jika kita tegangan sumber yang ada diatas 2 V, maka LED tersebut harus disertai dengan sebuah resistor. Dimana resistor ini berfungsi sebagai pembatas arus. Berbeda dengan *diode* pada umumnya, kemampuan mengalirkan arus pada LED (*Light Emitting Diode*) cukup

rendah yaitu maksimal 20 mA. Apabila LED (*Light Emitting Diode*) dialiri arus lebih besar dari 20 mA maka LED akan rusak, sehingga pada rangkaian LED dipasang sebuah resistor sebagai pembatas arus. Simbol dan bentuk fisik dari LED (*Light Emitting Diode*) dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.4 *Light Emitting Diode*

(Sumber : <http://mechatronics.colostate.edu>, 2015)

Dari gambar diatas dapat kita ketahui bahwa LED memiliki kaki 2 buah seperti dengan diode yaitu kaki anoda dan kaki katoda. Pada gambar diatas kaki anoda memiliki ciri fisik lebih panjang dari kaki katoda pada saat masih baru, kemudian kaki katoda pada LED (*Light Emitting Diode*) ditandai dengan bagian body LED yang di papas rata. Kaki anoda dan kaki katoda pada LED (*Light Emitting Diode*) disimbolkan seperti pada gambar diatas. Pemasangan LED (*Light Emitting Diode*) agar dapat menyala adalah dengan memberikan tegangan bias maju yaitu dengan memberikan tegangan positif ke kaki anoda dan tegangan negatif ke kaki katoda.

### 2.3.1 Prinsip Kerja LED

LED menghasilkan cahaya monokromatik. Prinsip kerjanya ketika LED diberi tegangan panjar maju maka LED akan mengalami medan elektromagnetik sehingga elektron akan mengalami rekombinasi dengan hole, rekombinasi ini melepaskan energi berupa foton, foton ini lah yang menyebabkan cahaya terpancar dari LED.

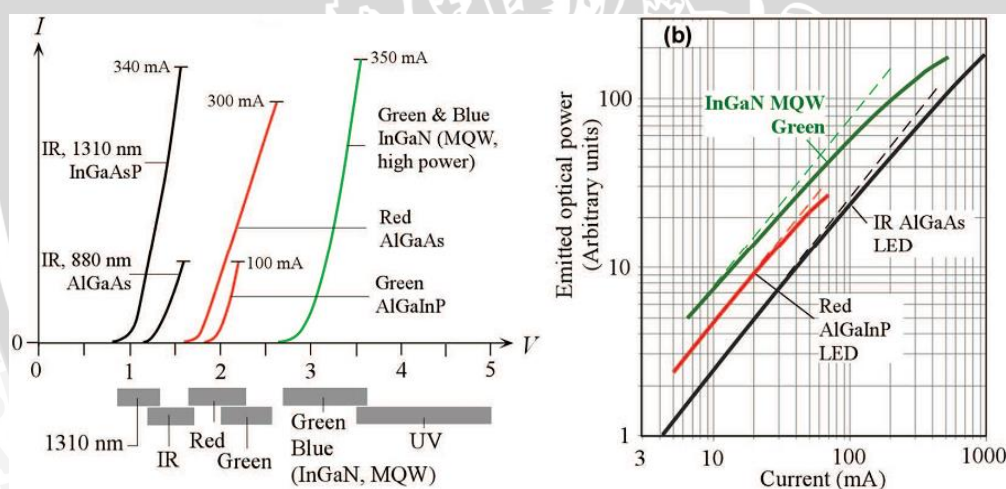
Pada saat bahan semikonduktor jenis p dan n digabungkan maka elektron bebas dari bahan jenis n akan berdifusi menuju bahan pdan berekombinasi dengan hole pada bahan jenis p. Sebaliknya juga hole pada bahan p akan berdifusi ke bahan n dan berekomendasi dengan elektron. Proses rekombinasi ini akan saling meniadakan muatan, akibatnya akan ada daerah disekitar sambungan p-n yang muatannya netral, daerah ini yang disebut daerah deplesi.



Cahaya yang dipancarkan oleh *diode* ini adalah hasil dari pelepasan energi oleh elektron saat berpindah dari pita konduksi ke pita valensi. Pada *diode*/LED, energi yang dipancarkan oleh elektron ini setara dengan perbedaan energi antara pita valensi dan pita konduksi, yaitu besar energi gap yang ada pada sambungan p-n. Sehingga energi gap yang ada pada daerah pengosongan sama dengan energi yang dipancarkan oleh elektron dalam bentuk cahaya saat berpindah dari pita konduksi ke pita valensi.

### 2.3.2 Karakteristik LED

Karakteristik LED pada umumnya adalah sama dengan karakteristik *diode* yang hanya memerlukan tegangan tertentu untuk dapat beroperasi. Namun bila diberikan tegangan terlalu tinggi LED akan rusak walaupun tegangan yang diberikan adalah tegangan maju. Tegangan Maju untuk LED tersebut tergolong rendah sehingga memerlukan sebuah Resistor untuk membatasi Arus dan Tegangannya agar tidak merusak LED yang bersangkutan. Tegangan LED memiliki kurva karakteristik sebagai berikut



Gambar 2.5 (a) Karakteristik I-V LED (b) Daya Optic LED Terhadap Arus LED  
(Sumber : Kasap, 2013)

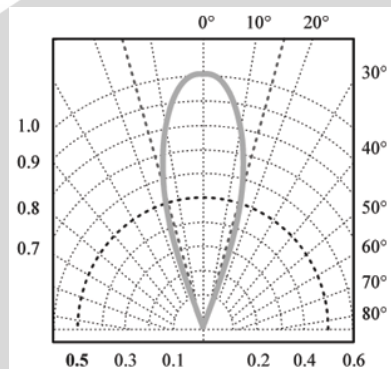
Pada Gambar 2.5(a) terlihat bahwa karakteristik I-V beberapa macam LED yang memiliki panjang gelombang berbeda, naik secara eksponensial. Pada Gambar 2.3(b) menunjukkan pengaruh arus LED terhadap output daya LED dimana arus LED berbanding lurus dengan output daya LED.

LED terbuat dari senyawa semikonduktor eksotik seperti *Gallium Arsenide* (GaAs), *Gallium fosfida* (GaP), *Gallium Arsenide fosfida* (GaAsP), *Silicon Carbide* (SiC) atau *Indium Gallium Nitrida* (GaInN) yang dicampur pada rasio yang berbeda

untuk menghasilkan panjang gelombang warna yang berbeda. Pilihan yang tepat dari bahan semikonduktor yang digunakan akan menentukan panjang gelombang keseluruhan dari emisi foton cahaya dan akan menentukan warna yang dipancarkan LED.

#### 2.4 Pengaruh Sudut *Viewing Angle* Terhadap Intensitas Cahaya LED

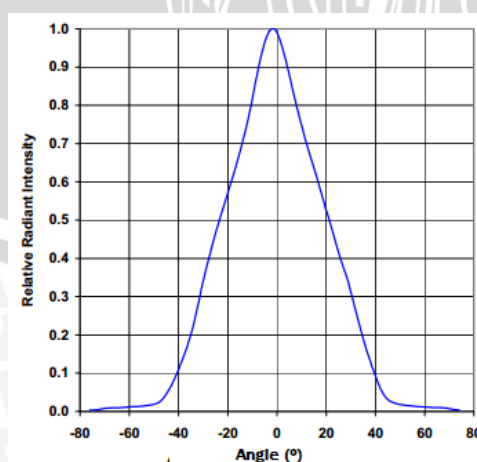
*Light Emitting Diode* (LED) merupakan sebuah sumber optik yang memiliki pola radiasi terarah (*directional*) sehingga LED tidak memancarkan cahaya secara merata ke semua arah. Gambar 2.6 menunjukkan LED dengan *viewing angle* antara  $0^\circ$  dan  $20^\circ$  dimana intensitas cahaya akan turun apabila menjauhi sumbu *axis* atau sudut  $0^\circ$  LED (Godse & Bakshi, 2009). *Viewing Angle* adalah besar sudut antara sumbu *on-axis* ( $0^\circ$ ) dimana intensitas cahaya terukur maksimum dan sumbu *off-axis* dimana intensitas cahaya turun sebesar 50% (Van Heek, 2014).



Gambar 2.6 Pola Radiasi LED

(Sumber : [www.wiimoteproject.com](http://www.wiimoteproject.com), 2015)

Ilustrasi secara grafik perubahan intensitas cahaya yang disebabkan oleh sudut pada *viewing angle* LED ditunjukkan pada Gambar 2.7.



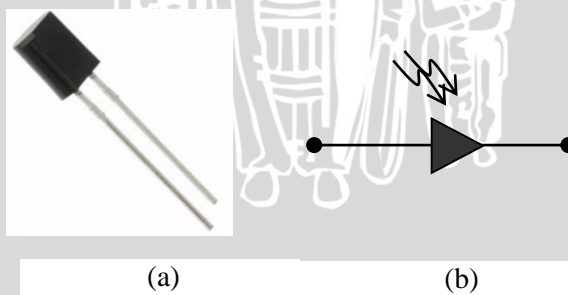
Gambar 2.7 Grafik Hubungan Sudut Terhadap Intensitas Cahaya



## 2.5 Photodiode

*Photodiode* adalah *diode* yang bekerja berdasarkan intensitas cahaya, jika *photodiode* terkena cahaya maka *photodiode* bekerja seperti *diode* pada umumnya, tetapi jika tidak mendapat cahaya maka *photodiode* akan berperan seperti resistor dengan nilai tahanan yang besar sehingga arus listrik tidak dapat mengalir. *Photodiode* merupakan sensor cahaya semikonduktor yang dapat mengubah besaran cahaya menjadi besaran listrik. *Photodiode* merupakan sebuah *diode* dengan sambungan p-n yang dipengaruhi cahaya dalam kerjanya. Cahaya yang dapat dideteksi oleh *photodiode* ini mulai dari cahaya infra merah, cahaya tampak, ultra ungu sampai dengan sinar-X.

*Photodiode* digunakan sebagai komponen pendeteksi ada tidaknya cahaya maupun dapat digunakan untuk membentuk sebuah alat ukur akurat yang dapat mendeteksi intensitas cahaya dibawah  $1\text{pW}/\text{cm}^2$  sampai intensitas diatas  $10\text{mW}/\text{cm}^2$ . *Photodiode* mempunyai resistansi yang rendah pada kondisi *forward* bias, kita dapat memanfaatkan *photodiode* ini pada kondisi *reverse* bias dimana resistansi dari *photodiode* akan turun seiring dengan intensitas cahaya yang masuk. *Diode* peka cahaya adalah jenis *diode* yang berfungsi mendeteksi cahaya. Berbeda dengan *diode* biasa, komponen elektronika ini akan mengubah menjadi arus listrik. Cahaya yang dapat dideteksi oleh *diode* peka cahaya ini mulai dari cahaya inframerah, cahaya tampak, ultra ungu sampai dengan sinar-X.



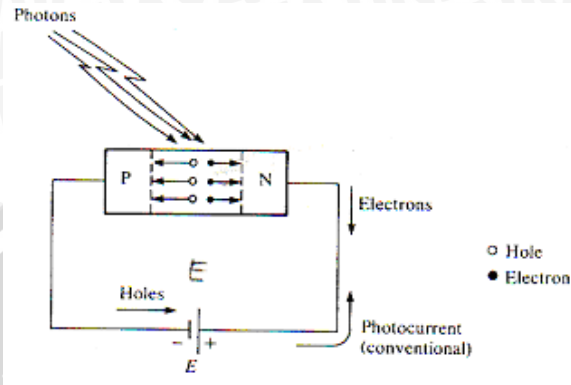
Gambar 2.8 (a) *Photodiode* dan (b) Simbol *photodiode*

(Sumber : <http://dm.risd.edu>, 2015)

### 2.5.1 Prinsip Kerja *Photodiode*

Prinsip kerjanya, karena *photodiode* terbuat dari semikonduktor p-n *junction* maka cahaya yang diserap oleh *photodiode* akan mengakibatkan terjadinya pergeseran foton yang akan menghasilkan pasangan elektron-hole di kedua sisi dari sambungan.

Ketika elektron-elektron yang dihasilkan itu masuk ke pita konduksi maka elektron-elektron itu akan mengalir ke arah positif sumber tegangan sedangkan *hole* yang dihasilkan mengalir ke arah negatif sumber tegangan sehingga arus akan mengalir di dalam rangkaian. Besarnya pasangan elektron ataupun *hole* yang dihasilkan tergantung dari besarnya intensitas cahaya yang diserap oleh *photodiode*.



Gambar 2.9 Prinsip Kerja *Photodiode*

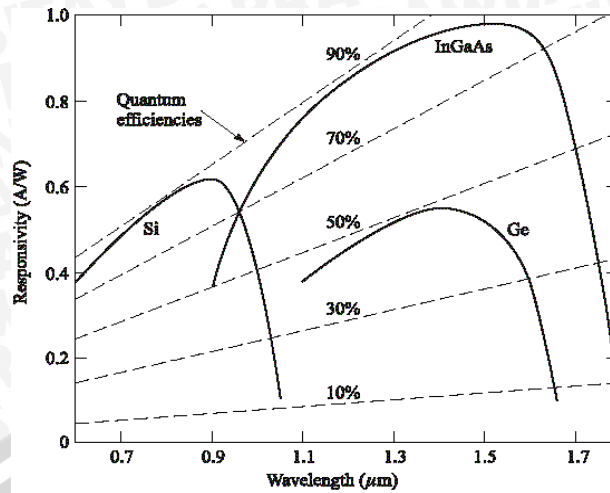
(Sumber : Irham, 2014)

Jika *photodiode* tidak terkena cahaya, maka tidak ada arus yang mengalir ke rangkaian pembanding, jika *photodiode* terkena cahaya maka *photodiode* akan bersifat sebagai tegangan, sehingga Vcc dan *photodiode* tersusun seri, akibatnya terdapat arus yang mengalir ke rangkaian pembanding. *Photodiode* akan mengalirkan arus yang membentuk fungsi linear terhadap intensitas cahaya yang diterima. Arus ini umumnya teratur terhadap *power density* (Dp). Perbandingan antara arus keluaran dengan *power density* disebut sebagai *current responsivity*. Arus yang dimaksud adalah arus bocor ketika *photodiode* tersebut disinari dan dalam keadaan dipanjar mundur.

### 2.5.2 Karakteristik *Photodiode*

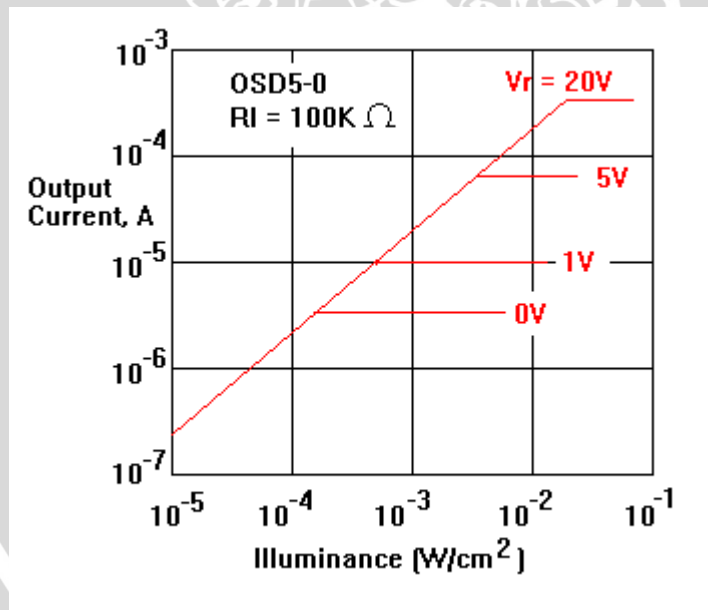
Sifat dari *photodiode* adalah jika terkena cahaya maka resistansinya berkurang sedangkan jika tidak terkena cahaya maka resistansinya meningkat. *Diode* dipasang *reverse* karena pada saat *diode* dipasang *reverse*, maka arus tidak akan mengalir karena hambatan yg sangat besar sekali. Jadi bisa dikatakan ini *diode* sebagai kondisi *open circuit* jika dianalogikan seperti sakelar. Namun pada *photodiode*, hambatan yang besar tadi bisa menjadi kecil karena pengaruh cahaya yang masuk. Hal seperti ini bisa menyebabkan arus mengalir sehingga kondisi seperti ini bisa dikatakan sebagai *close circuit* jika dianalogikan seperti sakelar.





Gambar 2.10. Kurva Karakteristik Beberapa Semikonduktor Photodiode (Sumber : Kasap, 2013)

Hubungan antara keluaran sensor *photodiode* dengan intensitas cahaya yang diterimanya ketika dipanjar mundur adalah membentuk suatu fungsi yang linier. Hubungan antara keluaran sensor *photodiode* dengan intensitas cahaya ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.11. Hubungan Arus Photodiode terhadap Intensitas Cahaya (Sumber : <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>, 2015)

### 2.5.3 Noise Photodiode

Pada *photodiode*, dua sumber *noise* yang dapat diidentifikasi yaitu *shot noise* dan *thermal noise* :



*Shot noise* muncul ketika arus listrik terbentuk dari aliran muatan diskrit (yang disebut dengan elektron) yang secara random dibangkitkan. Jadi, ketika *photodetector* disinari oleh daya optik yang konstan ( $I_p$ ). Walaupun ketika tidak ada cahaya yang ditangkap oleh *photodetektor*, *photodetektor* akan membangkitkan arus  $I_d$  yang dihasilkan dari carrier yang dibangkitkan secara *thermal*. Arus ini disebut dengan *dark current* dan meningkat terhadap peningkatan temperatur. Jadi total *shot noise* yang dihasilkan oleh *photodetektor* adalah: (Kartalopoulos, 2011)

$$I_{sn} = \sqrt{2q (I_p + I_D)B} \quad (2.3)$$

Dimana  $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ , adalah muatan elektron,  $I_p$  adalah *photogenerated current*,  $I_D$  adalah *photodetektor dark current* dan  $\Delta f$  adalah ukuran *noise bandwidth*. *Shot noise* adalah sumber *noise* dominan ketika beroperasi pada mode *photokonduktif* (bias).

*Thermal noise* (juga disebut dengan *noise Johnson* atau *Nyquist*) muncul atau bangkit pada resistor beban rangkaian *photodiode*, karena gerakan *thermal* dari elektron. *Thermal Noise* pada *photodetektor* berhubungan dengan hambatan *shunt* ( $R_{SH}$ ). Besarnya arus *noise* tersebut:

$$I_{jn} = \sqrt{\frac{4k_B T B}{R_{SH}}} \quad (2.4)$$

Dimana  $k_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J / K}$ , adalah Boltzmann konstan,  $T$ , adalah suhu mutlak dalam derajat Kelvin ( $273 \text{ K} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ),  $B$  adalah *bandwidth photodiode* dan  $R_{SH}$ , adalah resistansi *shunt* dari *photodiode*.

Total *noise* arus yang dihasilkan dalam sensor cahaya ditentukan oleh:

$$I_{tn} = \sqrt{I_{sn}^2 + I_{jn}^2} \quad (2.5)$$

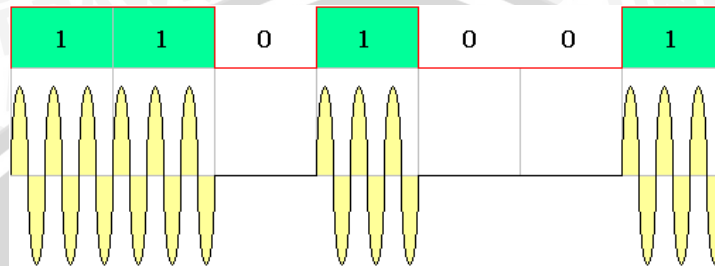
Berdasarkan persamaan (2.6), hubungan total arus *noise* pada photodetektor terhadap arus *shot noise* dan arus *thermal noise* adalah berbanding lurus. Sehingga semakin besar nilai arus *shot noise* dan arus *thermal noise*, maka semakin besar nilai total arus *noise* pada *photodetektor*.

## 2.6 Modulasi Intensitas Cahaya

Modulasi adalah suatu proses penumpangan sinyal-sinyal informasi ke dalam sinyal pembawa (*carrier*), sehingga dapat ditransmisikan ke tujuan. Modulasi optik atau modulasi cahaya adalah teknik modulasi yang menggunakan berkas cahaya berupa pulsa-pulsa cahaya sebagai sinyal pembawa informasi. Berkas cahaya yang digunakan disini adalah berkas cahaya yang dihasilkan oleh suatu sumber cahaya (laser atau LED).



Dibandingkan dengan modulasi konvensional, modulasi cahaya memiliki keunggulan dalam hal ketahanan terhadap derau yang sangat tinggi, karena sinyal tidak dipengaruhi medan elektromagnet. Di samping itu, sistem ini memungkinkan adanya bitrate hingga mencapai ratusan gigabit per detik. Dalam modulasi optik, sinyal dapat dimodulasi amplitudonya yang dikenal dengan modulasi intensitas (*Intensity Modulation*) berupa *Amplitudo Shift Keying (ASK) / On-Off Keying (OOK)*.



Gambar 2.12. *On-off keying*

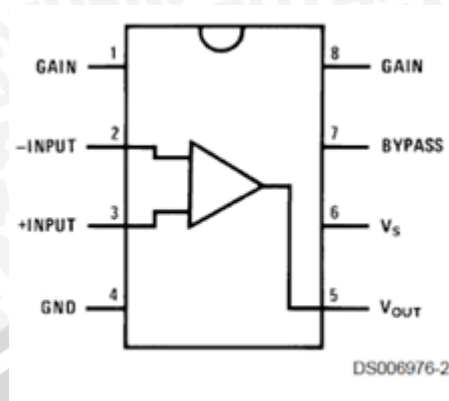
(Sumber : [www.snipview.com](http://www.snipview.com), 2015)

## 2.7 Amplifier LM386

IC LM386 adalah *integrated circuit (IC)* yang dirancang untuk digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan tegangan rendah. Tanpa komponen pendukung yang lain IC tersebut sudah dapat menguatkan input sebesar 20 kali. Keuntungan lain dari IC ini adalah konsumsi daya yang rendah dan hasil penguatan yang cukup baik. Untuk mendapatkan penguatan yang lebih besar dapat dilakukan dengan menambahkan resistor dan kapasitor antara pin 1 dan 8. Dengan demikian akan didapat penguatan sebesar 200 kali. Untuk tegangan Output akan secara otomatis bisa sampai setengah tegangan suplai. Daya yang diserap saat kondisi stanby hanya 24 miliWatt. IC ini dapat beroperasi pada tegangan 4 - 12 volt, sehingga IC LM386 bisa dioperasikan menggunakan baterai.

IC LM386 di desain lebih fleksibel untuk mengatur penguatan (*gain*), kuncinya terletak pada dua pin (1 dan 8). Dengan pin 1 dan 8 membuka (tanpa hubungan) maka set *gain* adalah 20 kali (26 dB). Jika sebuah kapasitor diletakkan dari pin 1 dan 8, *gain* akan naik sampai 200 kali (46 dB). Jika kapasitor diseri dengan resistor, *gain* dapat diatur ke nilai berapapun antara 20-200 kali. Sinyal suara yang ingin diperkuat ditempatkan di Terminal 2 dan 3. Sinyal suara diperkuat kemudian keluar melalui

terminal 5. Setelah beberapa kapasitor dan sebuah resistor untuk menyaring suara yang tidak diinginkan pada sinyal suara sebelum diperkuat.



Gambar 2.13 Pin Out Diagram LM386

(Sumber : Datasheet LM386)

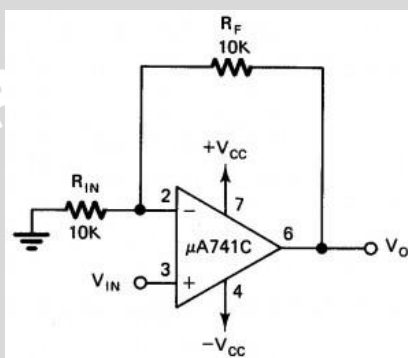
#### Fungsi Pin Pada Penguat audio (LM386)

- Control penguat (Pin 1 dan 8). Pin ini sebagai pengendali untuk mendapatkan penguat. LM386 mempunyai pin dimana dapat menyesuaikan gain dengan menempatkan sebuah resistor dan kapasitor, atau hanya kapasitor antara pin 1 & 8. Rangkaian ini, menempatkan sebuah kapasitor  $10\mu\text{F}$  antara pin untuk tegangan gain tertinggi.
- Sinyal Input (Pin 2 & 3). Pin ini sebagai sinyal input suara. Pin 2 & 3 menempatkan suara yang diinginkan untuk diperkuat. Terminal 2 - input dan Terminal 3 + input. Rangkaian pada sinyal suara positif akan ditempatkan pada terminal 3 dan terminal 2 akan dikaitkan dengan *ground*.
- *Ground* (Pin 4). Pin ini merupakan titik referensi untuk seluruh sinyal dan tegangan pada rangkaian LM386, baik rangkaian internal maupun rangkaian eksternal.
- Output (Pin 5) Pin ini merupakan hasil dari penguatan. Sinyal suara sudah diperkuat pada saat keluar pada pin.
- Control Voltage (Pin 6). Pin ini yang menerima suplay tegangan DC positif sehingga op-amp dapat menerima penguatan yang dibutuhkan untuk memperkuat sinyal.
- Bypass (Pin 7). Pin dapat melewati resistor . Pin ini dibiarkan terbuka atau ditransfer ke *ground*. Namun, untuk stabilitas yang lebih baik, sebuah kapasitor ditambahkan dirangkaian . karena hal ini dapat mencegah osilasi dalam op-amp rangkaian.



### 2.7.1 Non-Inverting Amplifier

*Non-Inverting Amplifier* merupakan penguat sinyal dengan karakteristik dasar sinyal output yang dikuatkan memiliki fasa yang sama dengan sinyal input. Rangkaian penguat non-inverting ini dapat digunakan untuk memperkuat sinyal AC maupun DC dengan keluaran yang tetap sefase dengan sinyal inputnya. Impedansi masukan dari rangkaian penguat tak-membalik (*non-inverting amplifier*) berharga sangat tinggi dengan nilai impedansi sekitar 100 MOhm. Contoh rangkaian dasar penguat tak-membalik menggunakan operasional amplifier (Op-Amp) dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.14 Rangkaian *Non-Inverting Amplifier*

Dengan sinyal input yang diberikan pada terminal input *non-inverting*, maka besarnya penguatan tegangan rangkaian penguat *non-inverting* diatas tergantung pada harga  $R_{in}$  dan  $R_f$  yang dipasang. Besarnya penguatan tegangan output dari rangkaian penguat *non-inverting* diatas dapat dituliskan dalam persamaan matematis sebagai berikut : (Hasan, 1990)

$$A_V = \left( \frac{R_f}{R_{in}} \right) + 1 \quad (2.6)$$

Berdasarkan persamaan (2.6) apabila besarnya nilai resistor  $R_f$  dan  $R_{in}$  rangkaian penguat non-inverting diatas sama ( $R_f = R_{in}$ ) maka besarnya penguatan tegangan dari rangkaian penguat diatas sebesar 2x.

## 2.8 Parameter Performansi Jaringan

*Quality of Service (QoS)* merupakan sekumpulan teknik dan mekanisme yang menjamin performansi suatu sistem komunikasi cahaya. *Quality of Service (QoS)* tersebut adalah *optical power loss*, *Signal to Noise Ratio (SNR)*, dan *delay*.

### 2.8.1 Optical Power Loss

Di dalam perancangan jaringan optik, *optical power loss* harus diperhitungkan. Hal ini untuk menunjukkan perbedaan daya yang dihasilkan oleh *transmitter* dibandingkan dengan jumlah cahaya yang dapat diterima oleh *receiver*. Dalam menghitung *optical power loss*, pertama mempertimbangkan daya keluaran dari *transmitter*. Berikut rumus untuk mencari nilai Optical Power Loss: (Keiser, 2015)

$$\text{Optical Power Loss in dB} = 10 \log \frac{P_{\text{receiver}}}{P_{\text{transmitter}}} \quad (2.7)$$

Dimana:

$P_{\text{receiver}}$  = Daya pada penerima (Watt)

$P_{\text{transmitter}}$  = Daya pada pemancar (Watt)

### 2.8.2 Signal to Noise Ratio (SNR)

Salah satu perhitungan *Noise* yang sangat penting adalah *signal to noise ratio* (SNR atau S/N). *Signal to Noise Ratio* ini merupakan perbandingan antara daya sinyal dengan daya *Noise*. Makin besar nilai SNR, makin tinggi kualitas jalur tersebut. Dengan SNR dapat dilakukan evaluasi dan antisipasi pengaruh *Noise* dari luar. SNR biasanya diukur pada ujung penerimaan dari sistem telekomunikasi sebelum proses deteksi sinyal. Secara matematis, SNR dinyatakan dalam satuan desibel (dB) dengan menggunakan rumusan: (Kartalopoulos, 2011)

$$\begin{aligned} \text{SNR (dB)} &= 10 \log \left[ \frac{\text{Signal Power}}{\text{Total noise Power}} \right] \\ \text{SNR (dB)} &= 10 \log \left[ \frac{I_{TN}^2}{(I_{SN}^2 + I_{TN}^2)} \right] \end{aligned} \quad (2.8)$$

$I_{TN}^2$  adalah arus thermal *noise* dan  $I_{SN}^2$  adalah arus shot *noise*. Pada persamaan (10) berasumsi bahwa sinyal yang datang bebas dari *noise*. Dalam kenyataannya, sinyal *photonic* yang datang telah mengandung *optical noise*. Akibatnya, *optical noise* harus dimasukkan ke dalam *total noise power* untuk menghitung SNR yang nyata.

### 2.8.3 Delay Spread

*Delay Spread* merupakan suatu interval ukuran *delay* masing masing lintasan yang dilewati sinyal dengan nilai penguatan atau peredaman tertentu. *Delay spread* ini dapat menimbulkan interferensi antar simbol, karena setiap simbol saling bertumbukan dengan simbol sebelum dan sesudahnya. Level interferensi antar simbol ini ditentukan oleh



kecepatan transmisi bit. *Delay spread* berawal dari sinyal *multipath* yang sampai di penerima dengan waktu tiba yang berbeda beda tergantung jarak lintasan yang ditempuh. Sebuah *impuls* yang dikirimkan oleh pemancar akan diterima oleh penerima bukan lagi sebuah impuls melainkan sebuah pulsa dengan lebar penyebaran yang disebut *Delay spread*. *Delay spread* dapat diamati pada *oscilloscope* dengan menghitung selisih periode sinyal di *receiver* dan periode sinyal di *transmitter* seperti pada persamaan berikut (Yulian, 2014):

$$D = T_{Rx} - T_{Tx} \quad (2-9)$$

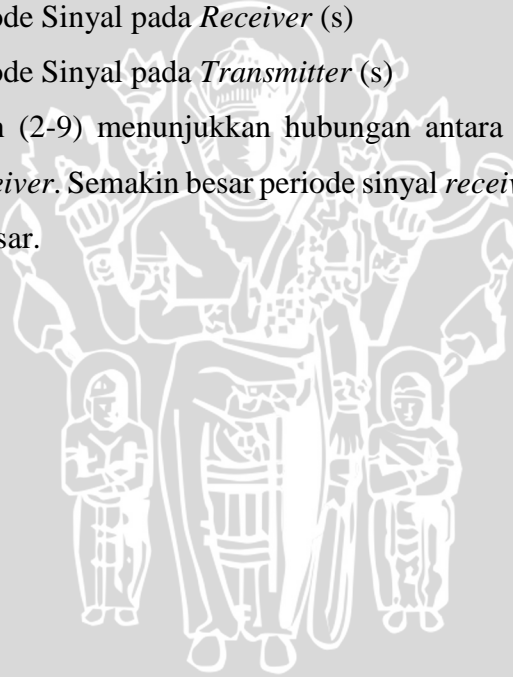
Keterangan :

$D$  = *Delay Spread* (s)

$T_{Rx}$  = Periode Sinyal pada *Receiver* (s)

$T_{Tx}$  = Periode Sinyal pada *Transmitter* (s)

Pada persamaan (2-9) menunjukkan hubungan antara *delay spread* dengan periode sinyal pada *receiver*. Semakin besar periode sinyal *receiver* maka *delay spread* sistem juga semakin besar.



**HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN**

