

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Tabel 2.1 merupakan kajian pustaka yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 2. 1 Kajian pustaka

NO	SITASI	TUJUAN	PARAMETER	HASIL
1	[5]	Membandingkan modulasi OOK, PPM, dan DPIM pada komunikasi nirkabel optik berdasarkan kebutuhan bandwidth, efisiensi daya, kapasitas transmisi ion	Variasi bandwidth, daya dan probabilitas kesalahan	-Kebutuhan bandwidth setara dengan kecepatan data (Rb) pada OOK - PPM memiliki efisiensi daya tertinggi - DPIM memiliki kapasitas transmisi ion tertinggi
2	[6]	Menganalisa kinerja FSO dengan teknik Multipulse PPM pada atmosfer turbulensi dan kebisingan penerima dan membandingkan dengan PPM tradisional	Variasi kondisi atmosfer, panjang gelombang dan pada kanal gamma-gamma	Pada turbulensi lemah kinerja MPPM lebih baik dari PPM tradisional namun pada saat turbulensi sedang dan tinggi kedua modulasi tersebut memiliki kinerja yang sama
3	[7]	Membandingkan kinerja transmisi FSO menggunakan beberapa variasi skema modulasi digital	Variasi gangguan turbulensi, penggunaan kanal log normal	Dari performansi error yang diamati pada pada pengiriman data pendek dalam kondisi turbulensi tinggi dengan SNR 2^{-12} , BPSK dan 4-QAM menunjukkan hasil terbaik dengan BER rata-rata mendekati 10^{-3} .
4	[4]	Menganalisis Performansi Subcarrier Intensity Modulation (SIM) Pada FSO Dan Membandingkan Dengan Modulasi On Off Keying	Kanal Kim dan Kruse Panjang Gelombang Visibility	BER menggunakan SIM lebih baik daripada menggunakan modulasi OOK-NRZ dan OOK-RZ, dan pada panjang gelombang 1550 nm dengan nilai 10^{-98} pada kanal model Kim dan 10^{-73} pada kanal model Kruse
5	[3]	Menganalisis performansi FSO pada beberapa panjang gelombang dengan beberapa teknik modulasi berbeda	Variasi jarak, panjang gelombang 1550 nm, variasi attenuasi akibat iklim, penghamburan, variasi modulasi ASK, PSK, FSK, MZ, EA, Dual Drive MZ	BER tertinggi diperoleh pada saat menggunakan modulasi PSK dan FSK dengan nilai BER 1 dengan panjang gelombang 1550 nm dan <i>link range</i> 1500 m, sedangkan nilai BER terendah diperoleh saat menggunakan modulasi EA dengan nilai BER 4.8×10^{-133}

NO	SITASI	TUJUAN	PARAMETER	HASIL
6	[8]	Menganalisis Performansi Modulasi 16-PSK Pada Kanal Kim Dan Kruse Pada FSO	Perubahan visibility, panjang gelombang, jarak transmitter ke receiver	Jarak mempengaruhi kualitas performansi BER. Semakin tinggi nilai panjang gelombang, visibilitas dan daya kirim yang digunakan maka jarak tempuh yang didapat semakin jauh dan dihasilkannya dengan kualitas yang baik.
7	[9]	Menganalisis perbandingan performansi modulasi BPSK, QPSK, 8-PSK pada Inter-Satellite Link	Variasi jarak antar satelit, variasi daya transmitter	Pada ketinggian satelit 500 km BER tertinggi menggunakan modulasi 8-PSK yaitu 0,9179 sedangkan BER terendah pada modulasi DCO-OFDM BPSK yaitu 1.972×10^{-8} .
8	[10]	Menganalisa nilai BER menggunakan teknik OFDM pada modulasi QAM	Variasi redaman hujan ringan, sedang dan lebat. Variasi panjang gelombang 1310 dan 1550 nm. Variasi jarak 0,5 - 10 km	Pada kondisi hujan ringan dengan daya 1 Watt BER terendah diperoleh pada jarak 1.2 km pada panjang gelombang 1310 nm. Pada kondisi curah hujan sedang dengan daya 1 Watt BER terendah diperoleh pada jarak <1 km dengan panjang gelombang 1310 nm. Dan pada hujan lebat dengan daya 1 Watt BER terendah pada jarak 0.5 km dengan panjang gelombang 1310 nm.
9	[11]	Menganalisis pengaruh redaman hujan pada performansi FSO	Variasi panjang gelombang, variasi attenuasi pada hujan lebat, dengan photodetector yang berbeda	Pada semua kondisi hujan dengan panjang gelombang 1310 dan 1550, serta pada jarak 180 m, 210 m, 700 m, 830 m diperoleh nilai BER yang sama yaitu 10^{-9} .
10	[12]	Menganalisa pengaruh redaman hujan terhadap performansi modulasi 16-PSK dan QPSK pada FSO	Variasi jarak, redaman hujan, variasi panjang gelombang, dan variasi daya	BER terendah diperoleh pada kondisi curah hujan ringan dengan jarak 0.89 km dengan nilai BER 2.44×10^{-10} dan BER tertinggi pada semua curah hujan dengan jarak 3.5 km – 10 km yaitu 0.049. Sedangkan pada modulasi QPSK diperoleh nilai BER 0.254 pada semua kondisi hujan dan jarak.

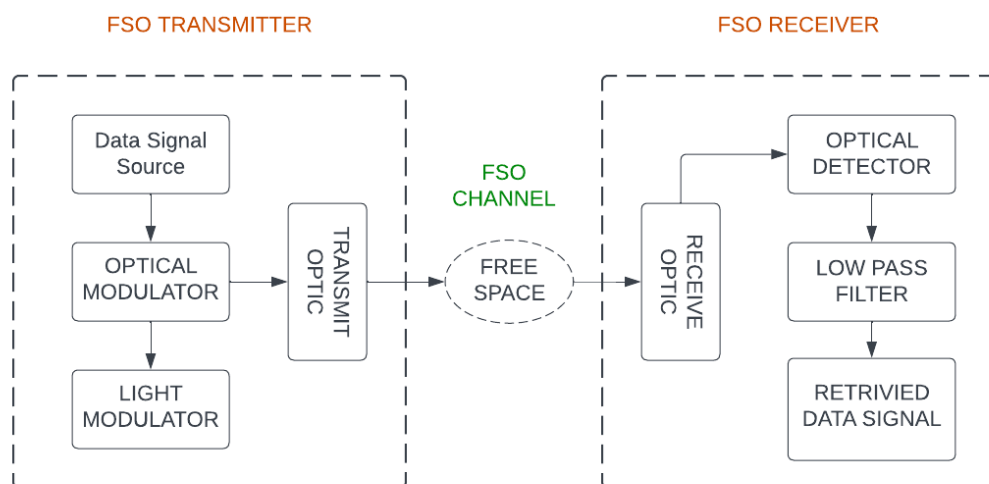
2.2 DASAR TEORI

2.2.1 *Free Space Optic (FSO)*

FSO merupakan sistem komunikasi optik yang menggunakan propagasi cahaya dalam ruang bebas untuk mengirimkan informasi antara dua atau lebih titik[13]. Komunikasi FSO ini memiliki kecepatan hingga 40 Gbps dengan frekuensi optik 192-250 THz yang memungkinkan penggunaan *data rate* yang tinggi. Selain itu FSO juga menyediakan *bandwidth* yang tinggi yaitu hingga 2000 THz hal ini memungkinkan keamanan data yang lebih besar[14]. FSO menggunakan panjang gelombang dengan rentang 700 nm hingga 1600 nm[4].

Untuk memiliki sistem FSO yang efektif ada beberapa karakteristik yang perlu diperhatikan, yaitu [15] :

- 1) Dapat operasi pada level daya tinggi pada jarak propagasi jauh
- 2) Memiliki modulasi kecepatan tinggi
- 3) Memiliki konsumsi daya yang rendah
- 4) Dapat beroperasi pada cakupan suhu yang luas

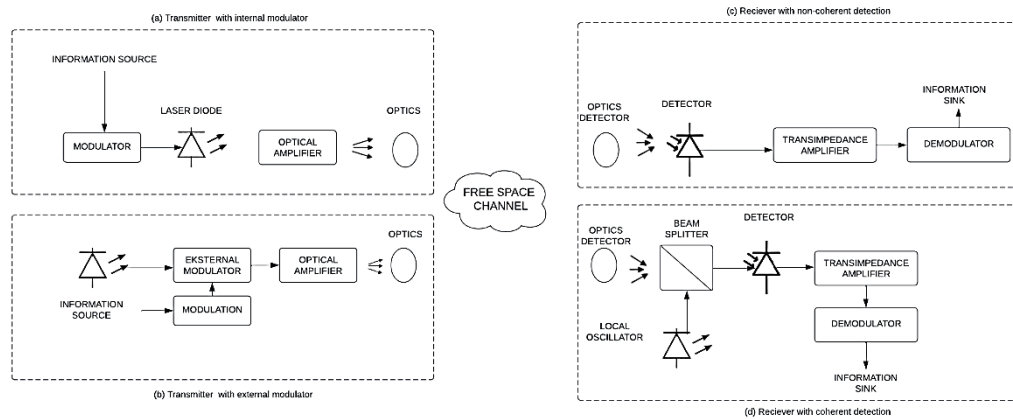


Gambar 2. 1 Blok diagram dasar FSO [16]

Gambar 2. 1 merupakan gambaran sistem kerja FSO yang terbagi menjadi tiga bagian besar yaitu :

1) FSO *Trasmitter*

Pemancar FSO berfungsi memodulasi sinyal informasi pada sinyal carrier yang selanjutnya akan ditransmisikan pada atmosfer ke penerima. Pemancar FSO terdiri dari sumber optik, modulator, penguat optik (opsional) dan optic.



Gambar 2. 2 Blok diagram sistem komunikasi FSO

Gambar 2.2 menunjukkan ilustrasi blok diagram sistem komunikasi FSO. Dari gambar tersebut dapat diketahui sumber optik digunakan untuk mengubah daya listrik menjadi daya optic. Pada sistem FSO *modern* sumber optik yang biasa digunakan adalah *light amplification by stimulated emission of radiation diodes* (LDs) karena mampu membelikan daya output yang tinggi, cahaya yang koheren dan sinar yang terkolimasi.

Pada sisi *transmitter optical amplifier* dapat digunakan jika daya optik yang dipancarkan dari sumber optik tidak mencukupi, namun penguat ini bersifat opsional. Ada dua modulator yang dapat digunakan pada sistem FSO yaitu modulator internal dan modulator eksternal.

2) FSO *Channel*

FSO *channel* merupakan media transmisi yang digunakan berupa ruang bebas/hampa udara. Pada tahap ini sumber optik akan mengalami beberapa gangguan yang menyebabkan penurunan kualitas sinyal, seperti penghamburan, absorpsi, dan *scintillation*. Gangguan ini dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti awan, salju, kabut dan hujan.

Hal ini dapat mempengaruhi performansi sistem FSO yang digunakan, redaman sinyal optik yang merambat disebut *specific attenuation* yang direpresentasikan dengan persamaan 2.1.

$$\beta(\lambda) = \frac{1}{R} 10 \log \left(\frac{P_O}{P_R} \right) \quad (2.1)$$

- $\beta(\lambda)$: *specific attenuation*
R : Panjang *link*
 P_O : daya optik yang dipancarkan dari *transmitter*
 P_R : daya optik pada jarak R

3) FSO receiver

FSO receiver berfungsi untuk mengembalikan data yang ditransmisikan dari sinyal optik menjadi sinyal informasi yang diterima. Penerima FSO terdiri dari modul deteksi, amplifier, dan modul demodulasi. Ada dua jenis skema deteksi optik yaitu deteksi inkoheren dimana detector optic digunakan langsung untuk mendeteksi intensitas cahaya atau yang biasa disebut *direct detection* (DD), deteksi ini hanya dapat digunakan pada internal modulator. Sedangkan pada eksternal modulator biasanya menggunakan deteksi koheren dimana pada perangkat ini disertai oleh *local oscillator* (LO). Dengan meningkatkan daya LO, dapat menurunkan *thermal noise* sehingga receiver dapat beroperasi pada batas *shot-noise*.

Berikut keunggulan komunikasi FSO[15] :

- 1) Memiliki *bandwidth* yang lebar
- 2) Memiliki jaringan yang fleksibel dan memiliki kecepatan yang lebih baik dari pada *broadband*.
- 3) Instalasi mudah dan cepat hanya membutuhkan waktu 30 menit pada lokasi normal.
- 4) Biaya instalasi yang lebih murah.
- 5) Penggunaan spektrum tanpa lisensi.
- 6) Memiliki tingkat keamanan yang tinggi .
- 7) Tidak membutuhkan jalur galian seperti *fiber optic*
- 8) Memiliki data rate yang tinggi yang sebanding dengan kecepatan kabel serat optik

- 9) Kebal terhadap interferensi elektromagnetik dan radiomagnetik
- 10) Penggunaan daya transmisi yang rendah
- 11) Mudah untuk di-*upgrade* karena didukung oleh *open interface* sehingga mudah dapat melakukan *upgrade* meskipun harus mengganti vendor

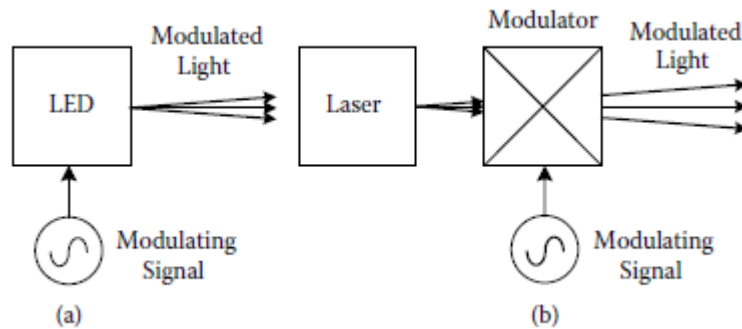
Sistem FSO memiliki beberapa perbandingan dibandingkan dengan sistem komunikasi lain, seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Perbandingan FSO dengan sistem komunikasi lain[15]

Paramaters	FSO	Optical Fiber	Microwave Radio	Coaxial Cable
Installation	Moderate	Difficult	Difficult	Moderate
Data Rate	Gbps	Independent	Mbps	Mbps
Security	Good	Very good	Poor	Good
Connectivity	P2P, P2MP short and long reach	P2P, P2MP short and long reach	P2P short reach	Multidrop short reach
Maintenance	Low	Low	Low	Moderate
Spectrum License	Not required	Required	Required	Required

2.2.2 Modulator

Modulator pada sistem optik terdiri atas dua tipe yaitu modulator internal dan modulator eksternal seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3 (a) Modulator internal (b) Modulator eksternal

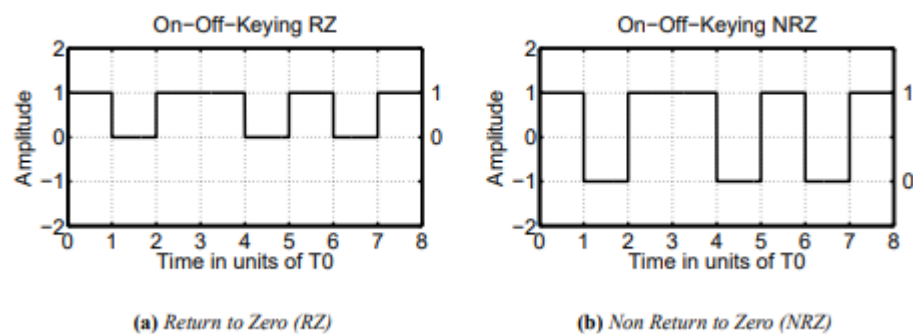
Modulator internal adalah modulator yang memodulasi cahaya pada perangkat sumber cahaya itu sendiri. Modulator internal mengubah bit informasi menjadi sinyal listrik dan menggunakan sinyal listrik ini untuk menggerakkan sumber optik langsung melalui sirkuit penggerak. Sedangkan modulator eksternal adalah modulator yang memodulasikan cahaya diluar perangkat cahaya tersebut. Modulator eksternal bekerja dengan mengubah indeks bias, polarisasi, dan

karakteristik transmisi lain dari cahaya yang masuk dari sumber optik. Masing – masing modulator memiliki keunggulannya, pada modulator internal lebih sederhana, kompak dan biaya yang lebih murah. Sedangkan modulator eksternal memiliki kualitas pulsa optik yang lebih baik dan *bit rate* yang lebih tinggi [17].

Ada dua tipe modulator eksternal yaitu *electro-absorption modulator* (EAM) dan *mach-zehnder modulator* (MZM). EAM memiliki ukuran yang lebih kecil serta dapat diintegrasikan dengan laser pada substrat yang sama, sedangkan MZM memiliki ukuran yang lebih besar namun memiliki karakteristik *extinction ratio* (ER) yang lebih baik.

2.2.3 Modulasi *On-Off Keying* (OOK)

Modulasi OOK adalah modulasi yang banyak digunakan pada sistem FSO. Pada modulasi OOK transmisi data representasikan oleh ada tidaknya sinyal informasi, pada saat ada sinyal informasi maka bit akan bernilai 1 sedangkan pada saat tidak ada sinyal informasi maka bit akan bernilai 0 [18].



Gambar 2. 4 Modulasi OOK [19]

Gambar 2.4 menunjukkan dua tipe modulasi OOK yaitu *non return-to-zero* (NRZ) dan *return-to-zero* (RZ). Pada modulasi NRZ-OOK level daya tinggi memiliki nilai bit 1 sedangkan level daya rendah memiliki nilai bit 0. Sedangkan pada modulasi RZ-OOK nilai bit 1 dinyatakan dengan setengah periode pertama level daya tinggi dan setengah periode kedua level daya rendah, namun pada nilai bit 0 memiliki level daya rendah[20]. Bentuk gelombang modulasi OOK-NRZ dapat direpresentasikan dengan persamaan 2.2.

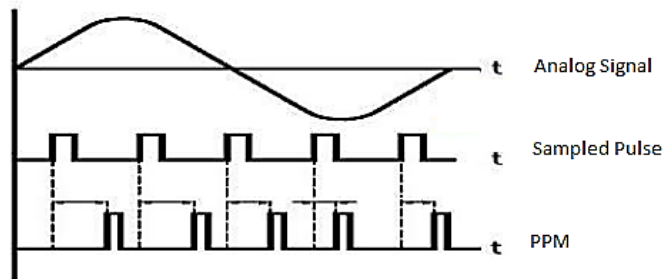
$$X(t) = \sum_k a_k P_{peak} P_{Tb} (t - kT_b) \quad (2.2)$$

Persamaan 2.2 nilai P_{Tb} sama dengan 1 jika nilai $0 \leq t \leq T_b$ dan akan bernilai 0 pada kondisi lainnya. P_{peak} merupakan daya puncak yang bernilai dua kali daya rata-rata seperti pada persamaan 2.3.

$$P_{peak} = 2 P_{avg} \quad (2.3)$$

2.2.4 Pulse Position Modulation (PPM)

PPM adalah teknik modulasi pulsa yang mengubah posisi pulsa sesuai dengan besar tegangan sinyal informasi. Semakin tinggi tegangan sinyal informasi maka posisi pulsa PPM menjadi semakin jauh dari posisi pulsa yang tidak termodulasi[21].



Gambar 2. 5 Modulasi PPM [22]

Gambar 2.5 merupakan gambar dari sinyal modulasi PPM. PPM memiliki beberapa keunggulan yaitu memiliki tingkat efisiensi daya yang tinggi dibanding teknik modulasi baseband lainnya, memiliki tingkat kekebalan terhadap *noise* yang lebih tinggi dan efisiensi transmisi. PPM juga memiliki kelemahan yaitu membutuhkan *bandwidth* yang lebih besar dan kompleksitas pensinyalan [20][23]. Modulasi PPM mempresentasikan bit tergantung pada indeks modulasinya (L), yang mengakibatkan periode simbol pada modulasi PPM akan lebih kecil dibandingkan periode bit. Pada modulasi PPM interval simbol dibagi menjadi subinterval, dimana interval symbol ini memiliki durasi seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.4.

$$T = \frac{\log_2 L}{R_b} \quad (2.4)$$

Persamaan 2.4 nilai T merupakan hasil logaritma basis dua dari jumlah bit (L) dibagi dengan kecepatan bit R_b .

$$L = 2^M \quad (2.5)$$

Persamaan 2.5 merupakan persamaan yang digunakan untuk memperoleh jumlah bit yang digunakan dimana M pada persamaan 2.5 merupakan nomer bit.

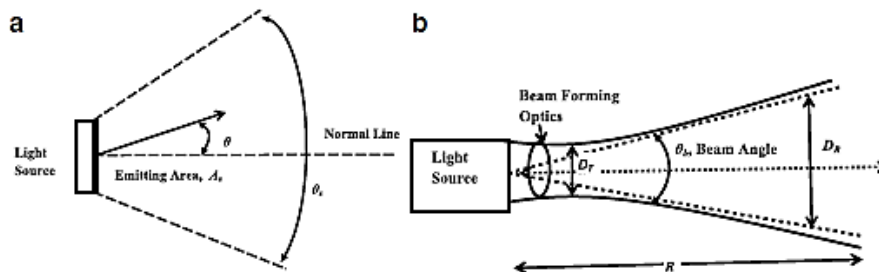
2.2.5 LASER

LASER (*light amplification by stimulated emission of radiation*) merupakan perangkat yang dapat memancarkan cahaya dimana berkas cahaya tersebut memiliki karakteristik atau monokromatik. Cahaya yang dipancarkan oleh LASER bersifat koheren atau memiliki fasa dan arah yang sama selain itu juga memiliki pancaran yang sempit dan terfokus[24].

Karena memiliki pancaran yang sempit dan sangat fokus, transmisi menggunakan LASER dapat menempuh jarak yang lebih jauh dibandingkan LED (*light emitting diode*). LASER bekerja dengan memantulkan cahaya yang ada pada perangkatnya dan pada salah satu ujungnya terdapat hampir 100% patulan sehingga jika ada cahaya yang terpantul keluar hanya sedikit[24]. Perbedaan karakteristik LASER dan LED ditunjukkan pada tabel 2.3 sebagai berikut.

Tabel 2. 3 Perbedaan LASER dan LED

Karakteristik	Laser	LED
Daya keluaran optik	Daya tinggi	Daya rendah
Lebar spectral	0,01 - 5 nm	25-100 m,
Bandwidth modulasi	10 KHz - 10 MHz	10 KHz-100 GHz
Efisiensi konversi E/O	10-20%	30-70%
Direksionalitas	Pancaran luas dan menyebar	Pancaran terarah dan sangat terfokus
Pengaruh temperatur	Sedikit terpengaruh	Sangat terpengaruh
Distorsi	Kecil	Sendang sampai tinggi
Filter penerimaan	Lebar	Sempit



Gambar 2. 6 Demonstrasi pancaran optik dari sumber cahaya

Gambar 2.6 merupakan demonstrasi pancaran optik dari sumber cahaya. Pada bagian a menunjukkan emisi cahaya dari sumber Lambertian sedangkan pada bagian b menunjukkan emisi cahaya menggunakan optik pembentuk berkas.

2.2.1 Photodetector

Photodetector adalah perangkat optoelektronik yang berada pada sisi penerima. Perangkat ini berfungsi untuk menerima cahaya yang dikirim dari sisi pengirim dan mengubah dari sinyal cahaya menjadi sinyal listrik. *Photodetector* harus memiliki sensitivitas yang tinggi karena sinyal yang diterima pada penerima umumnya melemah, selain itu *photodetector* juga harus memiliki *bandwidth* yang memadai dan tingkat *noise* yang rendah[4].

Pada komunikasi optik ada beberapa *photodetector* yang biasa digunakan yaitu PIN *photodiode*, *avalanche photodiode* (APD), *superlattice avalanche photodiodes* (SL-APD), *waveguide photodetectors* (WGPD), dan *cavity-enhanced photoelectric detectors* (RCE-PD).

2.2.2 Diameter aperture

Efisiensi daya pada *link* FSO dipengaruhi oleh *aperture* pada *transmitter* dan *receiver*. Untuk mengatur daya pancar yang dibutuhkan dapat dilakukan pengaturan pada ukuran *aperture* di sisi penerima. Ukuran diameter *aperture* juga mempengaruhi pada proses pengarahan (*pointing requirement*).

2.2.3 Kanal atmosfer

Kanal atmosfer adalah lingkungan yang kompleks dan dinamis yang dapat mempengaruhi propagasi sinyal optik. Sifatnya yang kompleks dan dinamis dapat mempengaruhi proses propagasi sinyal optik yang dapat menyebabkan hamburan dan penyerapan sinar optik yang dapat menurunkan kualitas sinyal. Atmosfer memiliki beberapa kondisi seperti cerah, berkabut dan hujan[25].

2.2.4 Attenuasi Atmosfer

Attenuasi atmosfer merupakan suatu keadaan dimana gelombang sinyal yang dikirimkan dapat mengalami proses penghamburan maupun penyerapan saat melintasi atmosfer. Pada panjang gelombang 850 nm dan 1550 nm pelemahan sinyal yang terjadi akibat pengaruh kondisi atmosfer relatif lebih rendah [17].

2.2.5 Pengaruh Fog dan Mist

Air merupakan komponen yang ada pada atmosfer partikel ini yang dapat membentuk kabut. Kabut tebal biasa dikenal dengan *fog* karena mengandung partikel air yang lebih banyak sedangkan *mist* memiliki kandungan partikel air yang

lebih rendah. Performansi FSO dipengaruhi oleh kondisi kabut yang ada pada atmosfer sehingga dapat mempengaruhi visibilitas jarak pandang.

2.2.6 Visibility

Salah satu parameter yang dapat digunakan untuk mengukur besar redaman pada atmosfer adalah *visibility*. *Visibility* merupakan jarak pandang atau ukuran untuk suatu benda atau cahaya dapat terlihat dengan jelas. Pada saat *visibility* turun mendekati 1 km maka kondisinya dapat disebut berkabut. *Visibility* dan *attenuasi* pada kondisi cuaca yang berbeda ditunjukkan pada tabel 2.4 [24].

Tabel 2. 4 *International Visibility Codes for Weather Condition* [26]

Weather condition	Visibility (m)	Attenuasi (dB/km)
Dense fog	50	315
Thick fog	200	75
Moderate fog	500	28,9
Light fog	770	19,3
Very light fog	1,000	13,8
Light mist	2,000	6,6
Very light mist	4,000	3,1
Clear air	20,000	0,54
Very clear air	50,000	0,19

2.2.7 Signal to Noise Ratio (SNR)

SNR adalah perbandingan antara besar daya kirim dengan *noise* untuk menentukan kualitas suatu sinyal yang terkena derau. Untuk mengetahui kualitas dan keandalan dari jaringan FSO salah satu yang dapat dilakukan ialah melakukan perbandingan daya yang diterima pada sisi *photodetector*. *Noise* dalam sistem optik nirkabel terbagi atas dua bagian utama yaitu *shot noise* dan *thermal noise* [27]. SNR dapat direpresentasikan dengan persamaan 2.6 dan 2.7.

$$\text{SNR}_{\text{FSO}} = \frac{S}{N} \quad (2.6)$$

$$\text{SNR}_{\text{FSO(dB)}} = S \text{ (dB)} - N \text{ (dB)} \quad (2.7)$$

Nilai SNR dapat diperoleh dari perbandingan nilai daya sinyal yang dikirim yaitu S dengan *noise* yang diterima yaitu N.

2.2.8 Bit Error Rate (BER)

BER adalah nilai yang menunjukkan besaran perbandingan dari bit yang error dengan bit yang dikirim dalam satu kali pengiriman pada sistem transmisi. Nilai BER dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu *noise*, interferensi, distorsi,

sinkronisasi bit, redaman, *multipath fading*. *Error function* dapat dinotasikan sebagai *erfc*, pada sistem komunikasi optik standar nilai menurut ITU-T G.984 yaitu sebesar 10^{-9} . Nilai BER pada modulasi PPM dapat diperoleh dengan persamaan 2.8 untuk modulasi 2-PPM, 2.9 untuk modulasi 4-PPM dan 2.10 untuk modulasi 8-PPM, sedangkan untuk modulasi OOK nilai BER dapat diperoleh menggunakan persamaan 2.11 untuk modulasi RZ-OOK dan 2.12 untuk modulasi NRZ-OOK [28].

$$BER_{2-PPM} = \frac{1}{2} \cdot \text{erfc}(\sqrt{SNR}) \quad (2.8)$$

$$BER_{4-PPM} = \frac{1}{2} \cdot \text{erfc}\left(\frac{\sqrt{SNR}}{2\sqrt{2}}\right) \quad (2.9)$$

$$BER_{8-PPM} = \frac{1}{2} \cdot \text{erfc}\left(\frac{\sqrt{3}\sqrt{SNR}}{2\sqrt{2}}\right) \quad (2.10)$$

$$BER_{RZ-OOK} = \frac{1}{2} \cdot \text{erfc}\left(\frac{1}{2}\sqrt{SNR}\right) \quad (2.11)$$

$$BER_{NRZ-OOK} = \frac{1}{2} \cdot \text{erfc}\left(\frac{1}{2\sqrt{2}}\sqrt{SNR}\right) \quad (2.12)$$

2.2.9 Q-Factor

Q-factor adalah ukuran kebisingan untuk melakukan diagnosa. *Q-factor* akan menyarankan SNR minimum untuk mendapatkan BER dari sinyal yang diberikan. *Q-factor* merupakan parameter yang menentukan performansi saluran komunikasi yang digunakan [27]. *Q-factor* menunjukkan tingkat distorsi sinyal yang terjadi selama proses transmisi, semakin tinggi nilai *q-factor* suatu sistem menunjukkan kualitas transmisi yang semakin bagus. Berdasarkan ITU-T G.984 nilai *Q-factor* minimal dalam pada sistem komunikasi serat optik yaitu 6.