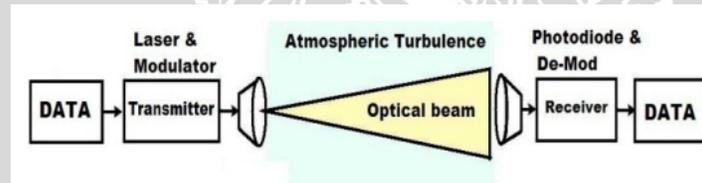


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibagi menjadi beberapa topik utama mengenai konsep dasar dari *Free Space Optic*, komponen komunikasi optik, atenuasi hujan, jenis panjang gelombang, jenis fotodetektor, *bit rate* serta atenuasi hujan.

2.1 *Free Space Optic*

Komunikasi *free Space Optic* (FSO) adalah teknologi akses *broadband* yang menawarkan *data rate* yang tinggi dari *point to point*. FSO banyak diteliti karena *bandwidth* nya yang lebar, BER yang rendah, tidak ada lisensi operasi dan mudah untuk dikembangkan. Bagaimanapun juga performansi link FSO bergantung pada kondisi atmosfer dan efek cuaca (Zuliyana, 2015).



Gambar 2.1 Sistem Komunikasi Optik Secara Umum

(Sumber : Singh, 2011)

Hubungan antara daya yang ditransmisikan dan daya yang diterima ditunjukkan oleh Persamaan (2-1) (Zuliyana, 2015) :

$$P_R = P_T \left(\frac{A_{RX}}{(\theta L)^2} \right) \cdot e^{-\alpha L} \tag{2-1}$$

dengan :

P_R = daya di *receiver* (dBm)

P_T = daya di *transmitter* (dBm)

A_{RX} = daerah penerimaan *receiver*

θ = sudut divergensi (*mrad*)

α = redaman atmosfer (dB)

L = jarak antara *transmitter* and *receiver* (m)

Seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2-1, daya di *receiver* sebanding dengan daya yang ditransmisikan dan luas penerimaan, tetapi berbanding terbalik dengan jarak *link* dan sudut divergensi. Bagian eksponensial dari persamaan terkait dengan redaman atmosfer dan memiliki pengaruh kuat pada kualitas *link*. Faktor lain yang menambah redaman berkas sinyal adalah divergensi *beam*. Batas *link* FSO akan menurun dengan meningkatnya curah hujan yang diukur dalam mm/jam untuk hujan (Soni dan Banga, 2013).

Kabut tidak terjadi di daerah tropis, oleh karena itu, hujan lebat adalah penyebab utama dari keterbatasan *link* FSO. Sistem dengan frekuensi sinyal dibawah 10 GHz tidak terpengaruh oleh kondisi cuaca. Sedang sistem dengan frekuensi sinyal diatas 10 GHz, dalam sistem FSO dipengaruhi oleh hujan (Willebrand dan Ghuman, 2002).

Data rate sampai 2.5 Gbps bisa untuk komunikasi data, suara dan video melalui udara, dengan menggunakan koneksi cahaya tanpa memerlukan serat optik ataupun lisensi spektrum. FSO dioperasikan pada panjang gelombang antara 780 -1600 nm dan menggunakan konverter O/E dan E/O. Sistem komunikasi ini membutuhkan cahaya yang dapat difokuskan dengan menggunakan *Light Emitting Diode* (LED) atau Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*). Penggunaan laser merupakan konsep yang sama seperti transmisi optik dengan menggunakan serat optik. Penjalaran cahaya melalui udara lebih cepat daripada melalui kaca, oleh karena itu tidak salah mengklasifikasikan FSO sebagai komunikasi dengan kecepatan cahaya. Komunikasi FSO sebagai alternatif sistem komunikasi link relay radio *Line of Sight* (LOS). (Altowij, 2014)

Pada gambar 2-1 ditunjukkan komponen sistem komunikasi FSO yang terdiri atas tiga bagian utama : *transmitter* untuk mengirim radiasi optic. Kanal FSO yang rentan terhadap pengaruh turbulensi (awan, hujan, asap, perubahan temperature, kabut dan aeraseol), serta *receiver* yang memproses sinyal yang diterima. Link FSO antara 300 m-5 km, meskipun jarak yang jauh dapat dikembangkan seperti 8-11 km tergantung kecepatan dan ketersediaan yang dibutuhkan (Altowij, 2014).

Keuntungan dari komunikasi FSO dibandingkan dengan komunikasi kabel konvensional dan komunikasi nirkabel frekuensi radio (RF) diantaranya :

- a) Mengonsumsi daya yang relatif rendah
- b) Menawarkan keamanan yang tinggi selama cakupan *beam* pada daerah yang sangat sempit
- c) Sensitivitas rendah terhadap interferensi elektromagnetik
- d) Kapasitas informasi besar
- e) Jarak yang jauh sampai 8 Km
- f) *Bit rate* tinggi, *bandwidth* yang tinggi dari fiber optik yakni 2.5 Gbps sampai 10 Gbps dicapai dengan WDM (*Wavelength Division Multiplexing*). Sistem yang modern dapat menangani sampai 160 sinyal dan dapat memperluas sistem dasar 10 Gbps melalui pasangan sinyal fiber ke 1.6 Tbit/s.
- g) Kebal terhadap interferensi elektromagnetik, aman karena tidak dapat dideteksi oleh RF meter atau *spectrum analyzer*, *beam* yang sempit dan terarah
- h) Cahaya yang digunakan tidak tampak dan aman terhadap mata, tidak ada bahaya kesehatan
- i) *Bit Error Rate* (BER) yang rendah
- j) Tidak terdapat *side lobe*
- k) Pengembangan sistem FSO cepat dan mudah
- l) Pemeliharaan yang praktis
- m) Biaya yang lebih rendah jika dibandingkan dengan jaringan fiber (biaya FSO serendah 1/5 biaya jaringan fiber)
- n) Lisensi gratis untuk operasi jarak yang jauh (sangat berbeda dengan komunikasi radio) (Altowij, 2014)

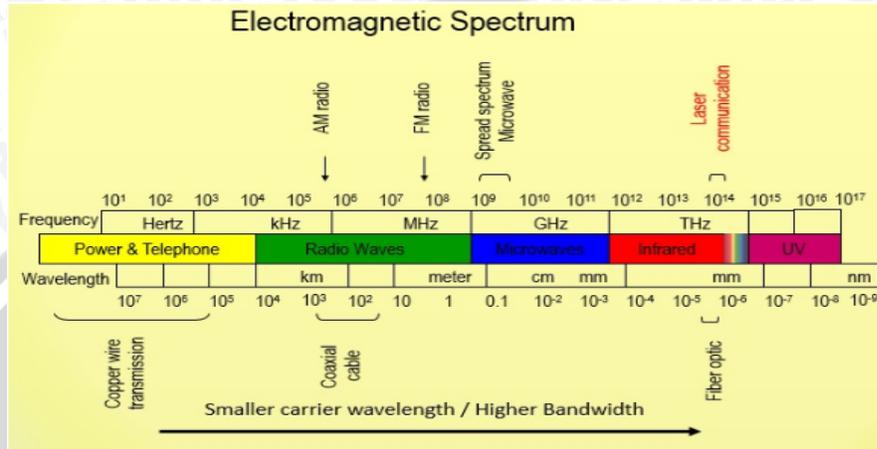
Sedangkan kerugian penggunaan sistem komunikasi FSO adalah untuk aplikasi *terrestrial*, faktor yang membatasi antara lain : dispersi *beam*, absorpsi atmosfer, hujan, kabut, salju, interferensi dari latar belakang sumber cahaya (termasuk sinar matahari), *shadowing*, stabilitas *pointing* pada angin, dan polusi.(Altowij, 2014)

Beberapa penggunaan FSO antara lain :

- a) Koneksi LAN-LAN di kampus-kampus Koneksi LAN-LAN pada suatu kota
- b) Instalasi jaringan sementara (untuk acara atau tujuan lain yang khusus)
- c) Membangkitkan kembali koneksi kecepatan tinggi dengan cepat (pemulihan bencana atau respon darurat)

- d) Komunikasi kapal ke kapal dengan *data rate* yang tinggi serta keamanan yang lengkap

2.2. Spektrum Elektromagnetik



Gambar 2.2 Spektrum elektromagnetik

(Sumber : Altowij, 2014)

Spektrum elektromagnetik ditunjukkan pada Gambar 2.2, dapat dituliskan dalam persamaan panjang gelombang, frekuensi, atau energi. Panjang gelombang (λ), frekuensi (ν) dihubungkan dengan persamaan (2-2) (Altowij, 2014 : 162-163)

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \tag{2-2}$$

Dimana c adalah kecepatan cahaya ($2.99 \times 10^8 m/s$). Energi berbagai komponen dari spektrum elektromagnetik ditunjukkan dengan Persamaan (2-3) :

$$E = h\nu \tag{2-3}$$

Dimana h adalah konstanta *Planck* ($6.63 \times 10^{-34} \text{ Joule sekon}$). Satuan panjang gelombang adalah mikrometer (μm atau sama dengan $10^{-6} m$) dan nanaometer ($10^{-9} m$). Frekuensi dalam Hertz (Hz), dengan Hertz sama dengan satu putaran pada satu putaran gelombang sinusoidal per sekon. Satuan energi adalah elektron-volt.

Ada beberapa *window* yang mendekati transparansi (atenuasi < 0.2 dB/km), yaitu *window* antara range 780 nm dan 1600 nm. *Window* tersebut terletak di sekitar panjang gelombang pusat tertentu :

✚ 850 nm

Panjang gelombang ini cocok untuk operasi FSO, dan beberapa vendor menyediakan sumber daya laser yang lebih tinggi yang beroperasi di wilayah ini. Panjang gelombang 850 nm dapat diandalkan, murah, performansi yang tinggi dari komponen transmitter dan detektor dapat dan umumnya digunakan pada peralatan transmisi dan jaringan.

✚ 1060 nm

Pada panjang gelombang 1060 nm ini menunjukkan nilai atenuasi yang sangat rendah. Tetapi, komponen transmisi untuk membangun jaringan pada gelombang ini sangat terbatas dan ukurannya sangat besar.

✚ 1250 nm

Panjang gelombang 1250 nm menawarkan atenuasi yang rendah, tetapi *transmitter* yang beroperasi pada *range* transmisi ini jarang. Pengoperasian laser dengan daya lebih rendah khususnya antara 1280-1310 nm tersedia secara komersial. Tetapi atenuasi atmosfer meningkat secara drastis pada 1290 nm, membuat panjang gelombang ini kurang sesuai untuk transmisi ruang bebas (*free space*).

✚ 1550 nm

Panjang gelombang ini sangat cocok untuk transmisi ruang bebas karena atenuasinya yang rendah. Komponen tersebut termasuk teknologi laser semikonduktor berkecepatan sangat tinggi yang sesuai untuk operasi WDM sebaik *amplifier* (EDFA, SOA) digunakan untuk membangkitkan daya transmisi.

2.3 Komponen Komunikasi Optik

2.3.1. Pemancar Optik

Peran pemancar optik adalah untuk mengonversi sinyal listrik menjadi bentuk optik dan memancarkan sinyal optik yang dihasilkan ke udara yang bertindak sebagai saluran komunikasi. Laser semikonduktor atau LED digunakan sebagai sumber optik karena sifatnya sesuai dan kompatibel dengan serat optik. Sumber itu memancarkan cahaya dalam bentuk gelombang kontinu pada panjang gelombang tetap, misalkan

Frekuensi pembawa V_0 berhubungan dengan panjang gelombang ini sebagai $V_0 = c / \lambda_0$, di mana c adalah kecepatan cahaya dalam ruang hampa.

Laser adalah salah satu dari beberapa pemancar optik yang sering digunakan. Kata "LASER" adalah singkatan dari *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*. Hal ini yang memungkinkan laser untuk dapat menghasilkan intens berkas cahaya koheren yang berdaya tinggi (cahaya yang mengandung satu atau lebih frekuensi yang berbeda). Bahan dasarnya berupa gas, cairan, kristal dan semikonduktor.

- **Continuous Laser (CW) Laser**

Kata Laser singkatan dari *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* sebuah laser mirip dengan fungsi LED, tetapi agak berbeda baik dalam fungsi dan karakteristiknya. Dalam percobaan ini CW laser ditetapkan sebagai sumber cahaya.

CW Laser memancarkan sinyal yang terus menerus (kontinyu). Hal ini membuat perbedaan mendasar dalam konstruksi. Dalam pengoperasiannya, output dari laser relatif konsisten terhadap waktu.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan jenis laser adalah :

1. Harga dan kehadalan komponen
2. Daya yang ditransmisikan
3. Masa operasi laser
4. Kemampuan modulasi
5. Keamanan mata
6. Dimensi fisik
7. Cocok dengan media transmisi lain seperti *fiber* (Ghumman, 2002)

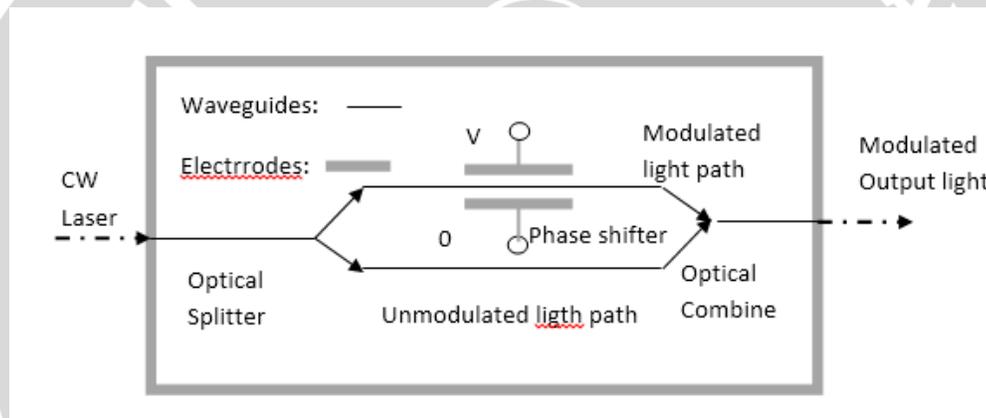
2.3.2. Modulator Optik Mach Zehnder

Untuk *transmitter* dengan kecepatan yang tinggi, laser dibiaskan pada arus yang konstan untuk memeberikan output CW, dan modulator optik ditempatkan setelah laser, berfungsi mengubah cahaya CW menjadi deretan data pulsa yang dikodekan dengan format modulasi yang tepat.

Modulator optik yang dikembangkan untuk aplikasi sistem gelombang cahaya ditunjukkan oleh gambar 2.3.

Modulator optik *Mach Zehnder* memanfaatkan bahan LiNbO₃ (*lithium niobate*) dan Mach-Zehnder (MZ) interferometer untuk modulasi intensitas. Dua titanium didifusikan ke pandu gelombang LiNbO₃ dari dua lengan interferometer MZ (lihat Gambar 2.3). Indeks bias bahan elektro-optik seperti LiNbO₃ dapat diubah dengan menerapkan tegangan eksternal. Dengan tidak adanya tegangan eksternal, bidang optik di dua lengan MZ akan berinterferensi secara konstruktif. Pergeseran fasa tambahan terjadi di salah satu lengan melalui perubahan indeks tegangan induksi yang menghilangkan sifat konstruktif dan mengurangi intensitas yang ditransmisikan. Secara spesifik, tidak ada cahaya ditransmisikan ketika perbedaan fasa antara kedua lengan sama dengan π , karena interferensi destruktif terjadi (Agrawal, 2002).

Dalam sebuah modulator EO berkas cahaya terbelah dua dan kemudian dikirim melalui dua jalur yang terpisah, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.3 Konsep Operasional dari Modulator Eksternal Elektro optik LiNbO₃
(Sumber : Agrawal, 2002)

2.3.3 Non Return to Zero (NRZ)

Format yang paling mudah dalam mentransmisikan sinyal digital adalah dengan menggunakan dua tingkat voltase yang berlainan untuk dua digit biner. Kode-kode yang mengikuti cara ini dibagi berdasarkan sifat-sifatnya. Tingkat voltase tetap konstan sepanjang interval bit yang ditransmisikan, yang dalam hal ini tidak terdapat transisi (tidak kembali ke level voltase nol). *Non Return to Zero* (NRZ) adalah format modulasi yang paling banyak diaplikasikan saat ini. Teknik untuk membangkitkan pulsa NRZ dikenal dengan teori telekomunikasi klasik.

Modulasi *Non Return Zero* (NRZ) adalah skema modulasi yang diaplikasikan pada sistem komunikasi terestrial FSO. Keutamaan NRZ salah satunya adalah memiliki sistem yang sederhana dan efisiensi *bandwidth*. (Liu et al., 2008).

2.3.4. Panjang Gelombang

Pemilihan panjang gelombang terbaik untuk digunakan pada sistem komunikasi optik ruang bebas, harus mempertimbangkan beberapa faktor. Namun, aplikasi di daerah perkotaan padat dengan isi *aerosol* tinggi mungkin sedikit berbeda daripada pinggiran kota yang relatif tidak berpolusi.

Persoalan lain berkaitan dengan fakta bahwa pada sekitar 1.550 nm, badan regulasi memungkinkan daya sekitar 100 kali lebih tinggi untuk "*eye safe*" laser. Hal ini karena pada panjang gelombang ini, cairan mata menyerap lebih banyak energi dari *beam*, mencegah ke retina dan mencegah timbulnya kerusakan. Kerugian dari jenis laser yang ini terutama adalah masalah biaya bila dibandingkan dengan panjang gelombang yang lebih pendek seperti laser yang beroperasi di sekitar 850 nm.

Memilih panjang gelombang transmisi yang benar melibatkan banyak faktor, seperti ketersediaan komponen, harga, jarak yang dibutuhkan transmisi, pertimbangan keamanan mata, dan sebagainya. Panjang gelombang yang lebih disukai adalah di 850 nm dan 1550 nm.

- Panjang gelombang 850 nm
Panjang gelombang ini cocok untuk operasi FSO, dan beberapa vendor menyediakan sumber daya laser yang lebih tinggi yang beroperasi di wilayah ini. Panjang gelombang 850 nm dapat diandalkan, murah, performansi yang tinggi dari komponen transmitter dan detektor dapat dan umumnya digunakan pada peralatan transmisi dan jaringan.
- Panjang gelombang 1550 nm
Panjang gelombang ini sangat cocok untuk transmisi ruang bebas, kualitas yang tinggi dari pemancar dan detektor. Kombinasi redaman yang rendah dan kemampuan komponen yang tinggi pada panjang gelombang ini membuat kemungkinan pengembangan dari WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) pada sistem FSO. Bagaimanapun juga komponen tersebut secara umum lebih mahal, dan detektor yang digunakan memiliki sensitivitas yang rendah serta memiliki daerah penerimaan yang lebih kecil. Oleh karena itu, panjang gelombang ini juga digunakan pada sistem fiber *long haul*, dan banyak perusahaan terus berusaha untuk

mengurangi biaya dan meningkatkan performansi pada komponen 1520-1600 nm. Lebih dari itu, panjang gelombang ini cocok dengan teknologi EDFA (*Erbium-doped Fiber amplifier*), yang penting untuk daya tinggi (>500 mW) dan sistem dengan *data rate* yang tinggi (>2.5 Gbps). Sebagai akibatnya, sebesar 20-65 kali daya dapat ditransmisikan pada daerah panjang gelombang 1520-1600 nm daripada yang dapat ditransmisikan pada daerah 780 – 850 nm untuk keamanan mata yang sama. (Scott Bloom, 2003)

2.4. Penerima Optik

Penerima optik termasuk komponen fotodetektor. Fotodetektor berperan untuk mengonversi sinyal, mengumpulkan di penerima, mengubah ke sinyal listrik. Sinyal-sinyal listrik dihasilkan oleh energi optik detektor untuk konversi energi listrik, karena akan jauh lebih mudah untuk demodulasi dari sinyal cahaya murni.

1) PIN Photodiode

Dalam komunikasi optik sumber cahaya membentuk *carrier* dan juga harus dimodulasi untuk mengirimkan informasi. Hampir semua sistem komunikasi optik memodulasi intensitas sumber cahaya. Peranan detektor adalah untuk mengonversi sinyal, mengumpulkan di penerima, mengubah ke sinyal listrik. Sinyal-sinyal listrik dihasilkan oleh energi optik detektor untuk konversi energi listrik, karena akan jauh lebih mudah untuk demodulasi dari sinyal cahaya murni.

Sebagaimana dibahas dalam bagian teori cahaya, meskipun cahaya adalah suatu bentuk energi, cahaya merupakan suatu intensitas atau daya yang menentukan kekuatannya. Oleh karena itu, peran nyata dari detektor cahaya adalah untuk mengonversi daya cahaya menjadi daya listrik, terlepas dari energi pulsa cahaya yang ditransmisikan. Hubungan ini juga menyiratkan bahwa konversi tidak terpengaruh dari durasi pulsa cahaya yang digunakan (Johnson, David.A, 2001).

Fotodetektor mengubah cahaya menjadi listrik melalui efek fotolistrik. Persyaratan untuk fotodetektor mirip dengan sumber optik. Fotodetektor harus memiliki sensitivitas tinggi, respon yang cepat, noise rendah, biaya rendah, dan kehandalan yang tinggi. Ukurannya harus kompatibel dengan ukuran inti *fiber*. Persyaratan ini paling baik dipenuhi oleh fotodetektor yang terbuat dari bahan semikonduktor (Agrawal, 2002).

Detektor jenis Si PIN digunakan secara luas. Silikon (Si) paling umum digunakan pada range panjang gelombang tampak dan *near IR*. Penerima Si dapat

mendeteksi cahaya dengan level yang sangat rendah. Detektor Si memiliki sensitivitas respon spectral maksimum sekitar 850 nm. Sedangkan untuk panjang gelombang yang lebih panjang umumnya digunakan material jenis InGaAs (*Indium Gallium Arsenide*). Hampir 100% dari semua panjang gelombang yang lebih panjang pada sistem *fiber Optic* menggunakan InGaAs sebagai material detektor. Secara komersial, detector InGaAs dioptimasi untuk operasi baik pada 1310 nm atau 1550 nm. Karena penurunan sensitivitas secara drastis pada panjang gelombang yang lebih pendek, detektor InGaAs tidak digunakan pada panjang gelombang 850 nm. (Rizal, Wan,dkk.,2011).

Tabel 2.1 Karakteristik umum PIN fotodiode

Parameter	Symbol	Unit	Si	Ge	InGaAs
Panjang Gelombang	λ	μm	0.4-1.1	0.8-1.8	1.0-1.7
Responsivitas	R	A/W	0.4-0.6	0.6-0.9	0.6-0.9
Efisiensi Kuantum	η	%	75-90	60-70	60-70
Dark Current	I_d	nA	1-10	1-20	1-20
Rise Time	T_r	ns	0.5-1	0.02-0.5	0.02-0.5
Bandwidth	Δf	Ghz	0.3-0.6	1-10	1-10
Tegangan Bias	V_b	V	50-100	5-6	5-6

Sumber : Agrawal, 2002

2) APD (Avalanche Photodiode)

Sebuah *Avalanche Photodiode* atau APD, adalah detektor semikonduktor yang memiliki *gain* internal. Dapat meningkatkan responsivitas bila dibandingkan dengan detektor pn atau PIN. *Gain* internal yang menghasilkan *signal-to-noise ratio* lebih baik. *Gain* dari *Avalanche Photodiode* (APD) meningkat dengan meningkatnya tegangan bias (Willebrand, 2002: 31).

Responsivitas ρ untuk *gain* yang dihasilkan APD dioda dapat ditulis sebagai berikut:

$$\rho = \frac{Me\lambda\eta}{hc} \tag{2-4}$$

dimana η adalah kuantum efisiensi dengan *gain*. Responsivitas *avalanche* berkisar antara 20-80 A / W. Nilai ini jauh lebih tinggi bila dibandingkan dengan dioda PIN silikon yang memiliki responsivitas antara 0.5-0.7 A / W.

Responsivitas ρ dapat diubah ke dalam bentuk arus *photo I* dengan menggunakan rumus berikut :

$$i = \frac{Me\lambda\eta P}{hc} \tag{2-5}$$

Dimana P adalah daya input optik.

Tabel 2.2 Karakteristik umum APD

Parameter	Symbol	Unit	Si	Ge	InGaAs
Panjang Gelombang	λ	Mm	0.4-1.1	0.8-1.8	1.0-1.7
Responsivitas	R_{APD}	A/W	180-130	3-30	5-20
Gain APD	M	-	100-500	50-200	10-40
Dark Current	I_d	Na	0.1-1	50-500	1-5
Rise Time	T_r	Ns	0.1-2	0.5-0.8	0.1-0.5
Bandwidth	Δf	Ghz	0.2-1	0.4-0.7	1-10
Tegangan Bias	V_b	V	200-250	20-40	20-30

Sumber : Agrawal, 2002

2.5. Efek Hujan Terhadap Sistem FSO

Hujan merupakan presipitasi uap air yang berasal dari awan yang terdapat di atmosfer. Presipitasi adalah sebuah proses jatuhnya butiran air atau kristal es ke permukaan bumi. Jumlah curah hujan dicatat dalam inci atau milimeter (1 inci=25.4 mm). Curah hujan sebesar 1 mm artinya adalah tinggi air hujan yang terukur setinggi 1 mm pada daerah seluas 1 m² dengan catatan tidak ada yang menguap, meresap atau mengalir. Tinggi curah hujan diasumsikan sama disekitar tempat penakaran, luasan yang tercakup dalam sebuah penakaran curah hujan tergantung pada homogenitas daerahnya maupun kondisi cuaca lainnya (Universitas Sumut).

Tabel 2.3 Kriteria Intensitas Curah Hujan di Indonesia menurut BMKG

KATEGORI	KETERANGAN
RINGAN	1-5 mm/jam; atau 5-20 mm/hari
SEDANG	5-10 mm/jam; atau 20-50 mm/hari
LEBAT	10-20 mm/jam; atau 50-100 mm/hari
SANGAT LEBAT	>20 mm/jam; atau >100 mm/hari

Sumber : bmkgo.id

Scattering yang terjadi selama hujan disebut *non-selective scattering*, ini karena radius hujan (100-1000 μm) secara signifikan lebih besar daripada panjang

gelombang yang bekerja pada FSO. Laser dapat melewati partikel hujan, dengan efek *scattering* yang terjadi lebih rendah. Partikel kabut (*haze*) sangatlah kecil dan berada lebih lama di atmosfer, tetapi partikel hujan sangat besar dan berada tidak lama di atmosfer. Ini adalah alasan utama bahwa redaman yang ditimbulkan hujan lebih rendah daripada yang ditimbulkan kabut.

Koefisien *scattering* hujan dapat dihitung menggunakan hukum *Stroke* (Fadhil, 2012):

$$\beta_{rain\ scat} = \pi a^2 N_a Q_{scat} \left(\frac{a}{\lambda}\right) \quad (2-6)$$

dengan :

a = radius hujan (cm)

N_a = distribusi hujan (cm⁻³)

Q_{scat} = Efisiensi *scattering*

Distribusi hujan N_a dapat dihitung dengan persamaan (2-7) :

$$N_a = \frac{Za}{1.33 (\pi a^3) V_a} \quad (2-7)$$

dengan :

Za = rata-rata hujan turun (cm/s)

V_a = batas kecepatan hujan

Batasan kecepatan hujan dibrikan oleh persamaan (2.28) :

$$V_a = \frac{2a^2 \rho g}{9\eta} \quad (2-8)$$

Dengan :

ρ = kerapatan air ($\rho= 1$ gr/cm³)

g = konstanta gravitasi ($g=980$ cm/sec²)

η = viskositas udara ($\eta=1.8 \times 10^{-4}$ gr/cm.sec)

Atenuasi yang diakibatkan oleh hujan :

$$\tau = -\frac{P(R)}{P(0)} = \exp(-\beta_{rain\ scat} L) = 10 \log(\exp(\beta_{rain\ scat} L)) \quad (2-9)$$

Dimana L adalah jarak transmisi.

2.6 Jarak FSO

Jarak mempengaruhi performansi sistem FSO. Sebagian besar sistem dapat menjangkau lebih besar dari 1 km dengan menggabungkan tiga atau lebih pengoperasian laser yang diparelel untuk mengurangi masalah terkait dengan jarak. FSO dapat mencapai jarak ribuan km di ruang vakum (Willebrand, 2002).

2.7 Bandwidth

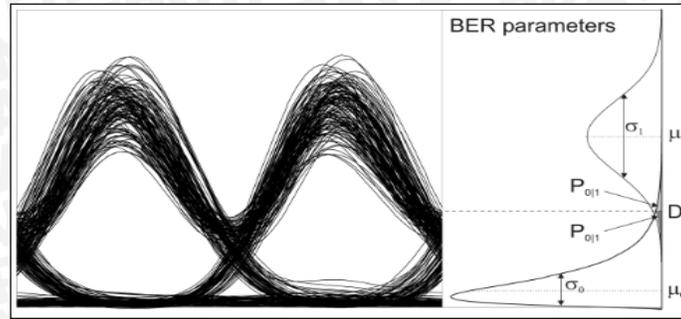
Pada standard sistem FSO O-E-O, ada dua elemen yang dapat membatasi *bandwidth* dari keseluruhan sistem. Elemen-elemen tersebut adalah sumber transmisi dan fotodetektor. Ketika LED ditembakkan kedalam FSO, *bandwidth* dibatasi sampai 155 Mbps. Ketika sumber laser digunakan, kecepatan dapat lebih tinggi. Laser yang dimodulasi secara langsung sampai 2.5 Gbps secara komersial dapat digunakan untuk sistem FSO. Pada kecepatan yang lebih tinggi seperti 10 Gbps atau di atasnya, modulator eksternal dapat digunakan untuk memodulasi keluaran CW dari suatu sumber laser.

Si-PIN diode dan Si-APD mendukung *data rate* sampai 1.250 Gbps. Untuk operasi pada panjang gelombang 1550 nm, menggunakan detektor InGaAs. Bagaimanapun juga, pada *bit rate* yang lebih tinggi sejumlah cahaya dapat dikumpulkan oleh *receiver* dan dikonversi menjadi electron sangatlah rendah dan kesensitivitasan *receiver* menjadi fungsi dari *bit rate*. Secara umum, berarti semakin tinggi *bit rate*, sensitivitas semakin rendah (Willebrand, 2002).

2.8 BER (Bit Error Rate)

Bit Error Rate (BER) adalah metode yang sederhana untuk memeperkiakan performansi berdasarkan perhitungan aliran bit salah yang diterima. Ketika sejumlah *error* diketahui, BER dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$BER = \frac{\text{Jumlah bit error}}{\text{Jumlah bit yang ditransmisikan}} \quad (2-10)$$



Gambar 2.4 BER

(Sumber : Thesis,vorgelegt, 2004)

Perhitungan *error* dalam sistem yang praktis dapat melalui proses yang panjang khususnya untuk BER yang rendah secara nyata ($<10^{-9}$). Implementasi perhitungan BER sedikit lebih rumit dan menghabiskan waktu dalam simulasi numerik selama perhitungan sumber yang terbatas. BER yang dipahami sebagai probabilitas terjadinya kesalahan (P_E), yang tergantung pada probabilitas *error* $P(1)$ dan ruang $P(0)$ (Vorgelegt,2004:76) :

$$BER = P_E = P(1)P(0|1) + P(0)P(1|0) \tag{2-11}$$

Dimana $P(0|1)$ dan $P(1|0)$ adalah probabilitas kondisional untuk mendeteksi 0 jika 1 terkirim dan sebaliknya. Asumsi terjadinya kemungkinan yang sama untuk 1 dan 0 $P(1) = P(0) = 0.5$ menghasilkan :

$$BER = \frac{1}{2} [P(0|1) + P(1|0)] \tag{2-12}$$

Oleh karena itu, nilai BER secara keseluruhan ditentukan dengan probabilitas kondisional $P(0|1)$ dan $P(1|0)$ (Thesis, vorgelegt von, 2004).

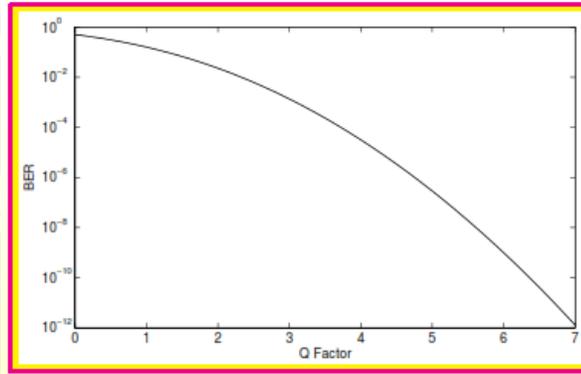
2.9 Q-factor

Q-factor adalah faktor kualitas yang akan menentukan bagus atau tidaknya suatu link pada suatu jaringan. Kriteria *Q-factor* untuk evaluasi performansi sistem transmisi seringkali dikombinasikan dengan pengukuran BER. Q-faktor didefinisikan sebagai metode yang digunakan untuk memperhitungkan berdasarkan ketidaktelitian distribusi Gaussian (Vorgelegt, 2004:78) :

Hubungan antara BER dan Q -factor ditunjukkan oleh (Wan Rizal,dkk., 2011) :

$$BER = \frac{1}{\sqrt{2\pi}Q} \operatorname{erfc}\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right) \quad (2-13)$$

Metode perhitungan Q -factor memungkinkan estimasi BER yang bagus. Dari gambar 2.7 menunjukkan hubungan Q-faktor terhadap BER. Seperti yang kita lihat, semakin tinggi nilai Q -factor, BER yang terjadi semakin baik.

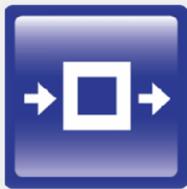


Gambar 2.5 Grafik hubungan BER dan Q factor

Sumber : (Agrawal 2007)

Nilai Q -factor minimal untuk dapat bekerja dengan baik adalah 6 dengan nilai BER minimum yang bisa dicapai adalah 10^{-9} .

2.10 Software Optisystem



Gambar 2.6 Software OptiSystem

(Sumber : Optiwave.com)

OptiSystem adalah desain *software* rangkaian yang lengkap, yang memungkinkan pengguna untuk merencanakan, mengetes, dan mensimulasikan *link* optik di lapisan transmisi jaringan optik yang modern.

Efektivitas biaya dan produktivitas dalam sebuah industri merupakan hal yang penting untuk menentukan keberhasilan. Keunggulan *OptiSystem* dapat meminimalkan kebutuhan waktu dan mengurangi biaya yang berkaitan dengan desain sistem optik, *link*, dan komponen. *OptiSystem* adalah *software* yang inovatif, berkembang pesat, dan alat desain yang kuat, yang memungkinkan pengguna untuk merencanakan, mengetes, dan mensimulasikan hampir setiap jenis *link* optik di lapisan transmisi dari spektrum yang luas dari jaringan optik dari LAN, MAN, WAN untuk ultra-jarak jauh. Menawarkan lapisan transmisi desain sistem komunikasi optik dan perencanaan dari komponen ke tingkat sistem, dan secara visual menggambarkan analisis dan skenario.

Keuntungan khusus :

- Memberikan wawasan global dalam kinerja sistem
- Secara visual mempresentasikan desain pilihan dan scenario untuk pelanggan yang prospektif
- Memberikan set yang mudah untuk akses yang luas
- Menyediakan parameter *sweep* otomatis dan optimisasi
- Terintegrasi dengan keluarga produk *Optywave*

OptiSystem memungkinkan pengguna untuk merencanakan, tes, dan mensimulasikan:

- Desain jaringan WDM / TDM atau CATV
- SONET / SDH desain cincin
- Transmitter, saluran, amplifier, dan desain penerima
- peta desain dispersi
- Estimasi BER dan sistem *penalty* yang berbeda dengan model *receiver* yang berbeda
- Penguatan sistem BER dan perhitungan *Link budget*

✓ Komponen *Library*

Komponen *library* dari *optisystem* mencakup ratusan komponen yang memungkinkan Anda untuk memasukkan parameter yang dapat diukur dari perangkat nyata. Hal tersebut terintegrasi dengan uji dan Peralatan pengukuran dari *vendor* yang berbeda. Pengguna dapat menggabungkan komponen baru berdasarkan

subsistem dan *user-defined library*, atau memanfaatkan *co*-simulasi dengan alat pihak ketiga seperti MATLAB atau SPICE.

✓ Bahasa Script yang kuat

Dalam Optisystem kita dapat memasukkan ekspresi aritmatika untuk parameter dan membuat parameter global yang dapat dibagi antara komponen dan subsistem menggunakan standar bahasa VB Script. Bahasa skrip juga dapat memanipulasi dan mengontrol OptiSystem, termasuk perhitungan, tata letak penciptaan dan pengolahan ketika setelah menggunakan halaman naskah.

✓ *Multiple Layout*

Kita dapat membuat banyak desain menggunakan proyek file yang sama, yang memungkinkan untuk membuat dan memodifikasi desain dengan cepat dan efisien. Setiap file proyek *OptiSystem* dapat berisi banyak versi desain. Versi desain dihitung dan diubah secara independen, tetapi perhitungan hasil dapat dikombinasikan di versi yang berbeda, memungkinkan untuk perbandingan desain.

✓ Optik Ruang bebas (FSO)

Fitur baru yang memungkinkan simulasi *link* komunikasi *intersatellite* kompleks.

✓ *Constellation* dan Diagram polar

Sebuah mesin perhitungan baru dalam *OptiSystem* digunakan untuk memperkirakan kesalahan simbol dalam daerah dan target yang ditentukan oleh pengguna.

✓ Analisis lanjutan toolsets

Fotonik menganalisa semua parameter, mengukur mode polarisasi dispersi (PMD) dan mencatat beberapa jejak secara bersamaan. Fitur baru yang kuat ini dapat mengukur rugi-rugi insersi (IL), *differential group delay* (DGD), *polarization chromatic dispersion* (PDC), rata-rata depolarisasi, dispersi, kemiringan disperse dan *group delay* (GD).

✓ *OptiPerformer*

Optiwave memperkenalkan *OptiPerformer*, perangkat visualisasi sistem komunikasi optik bebas yang memanfaatkan daya penuh dari *OptiSystem*. Penggunaan *OptiPerformer* untuk membuat skenario desain yang dapat digunakan oleh kolega non R&D untuk meningkatkan pemahaman mengenai penjualan komponen dan sistem *photonic* (*OptiSystem*, 2009).

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

[HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN]

