

PERANCANGAN DAN ANALISIS SISTEM KOMUNIKASI FREE SPACE OPTIC PADA TELKOM UNIVERSITY DAN PT TELKOMSEL REGIONAL JAWA BARAT

DESIGN AND ANALYSIS OF FREE SPACE OPTIC COMMUNICATION SYSTEMS IN TELKOM UNIVERSITY AND PT. TELKOMSEL REGIONAL JAWA BARAT

Gerald ibram zuhdy¹, Kris Sujatmoko², Desti Madya Saputri³

^{1,2} Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung.

³PT. PLN (Persero) UP3 Bandung

geraldiz@student.telkomuniversity.ac.id, krissujatmoko@telkomuniversity.ac.id, destimadyasaputri@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Free Space Optic (FSO) merupakan sistem komunikasi yang menggunakan udara bebas (*free space*) sebagai media propagasi. FSO menggunakan sorotan cahaya untuk mengirim full-duplex Gigabit Ethernet throughput data, suara, dan komunikasi video secara simultan melalui udara. Sistem FSO memiliki berbagai keterbatasan. Kelemahan FSO yang terkenal adalah kepekaannya terhadap kondisi cuaca lokal - terutama terhadap kabut dan hujan, yang mengakibatkan hilangnya kekuatan sinyal optik pada jalur komunikasi.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk merancang dan mengevaluasi performansi sistem komunikasi FSO pada Telkom University dan PT Telkomsel Regional Jawa Barat menggunakan Wavelength Division Multiplexing (WDM) dengan teknik modulasi Amplitude Shift Keying (ASK) dan menyoroti beberapa faktor yang akan mempengaruhi kualitas pengiriman data, diantaranya pada kondisi kabut dan hujan.

Penelitian ini melakukan perancangan komunikasi dengan menggunakan teknologi FSO pada Telkom University dan PT Telkomsel Regional Jawa Barat. Setelah itu, menganalisis pengaruh redaman cuaca hujan dan kabut menggunakan WDM dengan teknik modulasi ASK terhadap transmisi data. Cuaca yang digunakan berdasarkan cuaca umum yang terjadi pada lokasi perancangan. cuaca tersebut meliputi cuaca cerah, hujan ringan, hujan sedang, hujan lebat dan hujan sangat lebat. Setelah dilakukan optimasi pada setiap parameter berdasarkan struktur prioritas, diketahui bahwa untuk cuaca cerah dan hujan ringan memiliki nilai parameter yang paling efisien dibandingkan nilai parameter pada cuaca lainnya. Pada kondisi tersebut laju data sebesar 9.0 gbps berhasil diciptakan dengan parameter yang digunakan pada kedua cuaca tersebut adalah 35 dBm pada parameter optical amplifier gain, 30 dBm pada daya LASER dan receiver aperture yang digunakan sebesar 30cm. Cuaca yang menggunakan nilai parameter terbesar yang di input pada proses optimasi terjadi pada kondisi cuaca hujan sangat lebat. Untuk parameter dengan nilai redaman sebesar 13.86 dB/Km, dirancang laju bit 4.0 Gbps. Daya LESER yang digunakan 36.02 dBm., nilai receiver aperture yang digunakan adalah sebesar 50 cm. dan optical amplifier gain yang digunakan adalah sebesar 52 dBm.

Kata Kunci: sistem *Automatic meter Reading*, Migrasi Jaringan, RSCP, Ec/No.

Abstract

Free Space Optic (FSO) is a communication system that uses free space as a propagation medium. The FSO uses light highlights to send full-duplex Gigabit Ethernet throughput of data, sound, and video communication simultaneously over the air. The FSO system has various limitations. The FSO's well-known weakness is its sensitivity to local weather conditions - especially against fog and rain, resulting in a loss of optical signal strength on communication lines.

This research was conducted with the aim of designing and evaluating the performance of FSO communication systems at Telkom University and PT Telkomsel Regional West Java using Wavelength Division Multiplexing (WDM) with Amplitude Shift Keying modulation techniques (ASK) and highlighting several factors that will affect the quality of data delivery, including fog and rain conditions.

This research conducts communication design using FSO technology at Telkom University and PT Telkomsel Regional West Java. After that, analyze the effect of rain and fog weather damping using WDM with ASK modulation techniques on data transmission. The weather used is based on the general weather that occurs at the design location. these include sunny weather, light rain, moderate rain, heavy rain and very heavy rain. After optimization of each parameter based on the priority structure, it is known that for sunny weather and light rain it has the most efficient parameter value compared to the parameter value in other weather. In these conditions the data rate of 9.0 gbps was successfully created with the parameters used in both weathers being 35 dBm on the optical amplifier gain parameter, 30 dBm on laser power and the aperture receiver used by 30cm. Weather that uses the largest parameter value input in the optimization process occurs in very heavy rainy weather conditions. For parameters with a damping value of 13.86 dB/Km, designed bit rate of 4.0 Gbps. LESER power used 36.02 dBm., the aperture receiver value used is 50 cm. and the optical amplifier gain used is 52 dBm.

Keywords: *automatic meter reading system, network migration, RSCP, Ec/No.*

1. Pendahuluan

Kebutuhan masyarakat akan adanya layanan komunikasi multimedia, seperti video dan high speed internet yang saat ini terus meningkat. Hal ini menyebabkan tuntutan akan kualitasnya kabel serat optik menjadi semakin besar. Beberapa tuntutan tersebut datang dari perusahaan yang berada di kota besar. Dalam membuat jaringan serat optik membutuhkan biaya yang mahal dan persyaratan yang cukup sulit. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut diperlukan adanya suatu sistem komunikasi nirkabel berkecepatan tinggi dengan proses instalasi yang mudah dan murah. Salah satunya adalah Free Space Optic (FSO).

FSO adalah sebuah komunikasi yang mempergunakan medium transmisi udara bebas (*free space*). Teknologi FSO mulai banyak diminati karena memiliki beberapa keunggulan, antara lain spectrum frekuensinya bebas (*free licence*), bandwidth lebar, biaya instalasi lebih murah dan praktis karena transceiver FSO dapat diletakkan di dekat jendela maupun pada rooftop gedung [1]. Sistem komunikasi FSO memiliki banyak faktor yang dapat meredam dan menginterferensi sinyal cahaya, karena FSO menggunakan medium Free Space. Banyaknya molekul di udara, terdapatnya jarak antara pengirim dan penerima, serta kondisi pada atmosfer menjadi faktor yang harus dipertimbangkan. Terdapat 2 faktor lain yang sangat penting dalam proses pengiriman sinyal cahaya pada FSO, yakni cuaca dan turbulence. Dalam pengimplemetasikan FSO bisa menggunakan Light Amplification of Stimulated Emission by Radiation (LASER) karena cahayanya lebih fokus dan jarak pancaran yang jauh [2].

Dalam Penelitian ini dilakukan perancangan komunikasi dengan menggunakan teknologi FSO pada Telkom University dan PT Telkom Regional Jawa Barat. Setelah itu, menganalisis pengaruh redaman cuaca hujan dan kabut menggunakan Wavelength Division Mul-tiplexing (WDM) teknik modulasi digital Amplitude Shift Keying (ASK) terhadap transmisi data. Setelah melakukan analisis, dilakukan proses optimasi pada parameter yang terdapat pada perangkat FSO untuk mencapai kinerja FSO yang terbaik. Harapan dilakukannya penelitian ini agar dapat mengetahui efektivitas penerapan sistem komunikasi FSO pada Telkom University dan PT Telkom Regional Jawa Barat.

2. Dasar Teori dan Metodologi

2.1 Free Space Optic (FSO)

Free Space Optic (FSO) merupakan sistem komunikasi yang menggunakan udara bebas (*free space*) sebagai media propagasinya. FSO menggunakan sorotan cahaya untuk mengirim *full-duplex* Gigabit Ethernet *throughput* data, suara, dan komunikasi video secara simultan melalui udara. Sumber cahaya yang digunakan dapat berupa *Light Emitting Diode* (LED) maupun *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (LASER) [1].

FSO memiliki *bandwidth* yang relatif besar sehingga memungkinkan untuk menghasilkan *data rate* yang tinggi. Belum adanya regulasi rentang frekuensi di atas 100 GHz untuk teknologi telekomunikasi membuat teknologi ini tidak memerlukan lisensi dalam penerapannya. Sistem komunikasi FSO bersifat *full duplex* yang berarti komunikasi dapat dilakukan dua arah. Tingkat keamanan yang dimiliki FSO juga lebih baik dibandingkan teknologi *wireless* lainnya karena pancaran cahaya dari LASER sangat terfokus dan divergensinya sangat sempit, sehingga sulit dideteksi *spectrum analyzer* atau RF meter. FSO juga sulit terinterferensi [4].

Dengan keunggulan yang telah dijelaskan di atas, FSO juga memiliki keterbatasan. Meskipun jaringan FSO memiliki sistem *Line of Sight* (LOS), dalam kenyataannya faktor alam akan mempengaruhi kualitas jaringan Komunikasi FSO yang menjalar melalui udara pada cuaca cerah, akan mengalami fluktuasi irradians yang akan menyebabkan terjadinya sintilasi sehingga akan terjadi penurunan *Signal to Noise Ratio* (SNR) pada sistem. Redaman geometri adalah pengurangan daya pada sisi penerima karena terjadinya pelebaran cahaya saat proses transmisi sehingga semakin jauh jarak antara pengirim dan penerima, semakin besar juga pelebaran cahayanya. Partikel foton mengalami pelemahan dalam proses pengiriman sinyal kepada sisi penerima karena peristiwa absorsi yang mengakibatkan daya cahaya berkurang ketika sampai pada sisi penerima. Pancaran cahaya bertabrakan dengan benda padat menyebabkan pancaran cahaya berhamburan ke berbagai arah.

2.2 LASER

LASER adalah perangkat yang memancarkan cahaya yang berkas cahayanya memiliki satu karakteristik atau monokromatik. Cahaya yang dipancarkan juga koheren atau memiliki fasa dan arah yang sama. Pancarannya juga sempit dan terfokus. Prinsip kerja LASER adalah pemantulan cahaya di dalam perangkatnya dan di salah satu ujungnya terdapat hampir 100% pemantulan sehingga ada cahaya yang terpantul keluar namun kecil. Itulah mengapa cahaya dari LASER terfokus dan pancarannya sempit. panjang gelombang pada LASER terfokus dan pancarannya sempit. panjang gelombang pada LASER adalah 0.1 nm sampai 5nm [6].

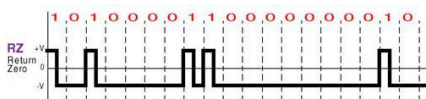
2.3 Wavelength Division Multiplexing (WDM)

Teknologi *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) adalah salah satu jenis *multiplexing* yang merupakan teknologi jaringan transport yang mampu menyalurkan berbagai jenis traffic seperti data, suara, dan video dengan menggunakan panjang gelombang berbeda dalam alur secara bersamaan. Jaringan WDM dapat digunakan untuk aplikasi jarak jauh (*long haul*) maupun jarak dekat (*short haul*) [7]. Keuntungan dari WDM adalah sistem komunikasi dua arah yang dapat meningkatkan bandwidth yang tinggi dan dapat memperluas area jangkauan FSO.

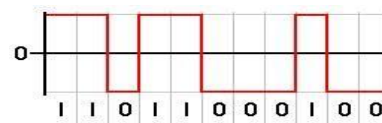
Dalam perancangan FSO digunakan dua jenis WDM. Pertama adalah WDM *Transmitter*, komponen yang menggabungkan sinyal-sinyal dan kemudian sinyal tersebut akan dikirimkan ke receiver [7]. Kedua adalah WDM *Multiplexer*, komponen penerima beberapa *input* data digital dari WDM *Transmitter* dan menyeleksi salah satu dari input tersebut pada saat tertentu, untuk di keluarkan pada sisi output [7].

2.4 Pengodean Data

Sebelum membuat perencanaan sistem jaringan, hal pertama yang dilakukan terlebih dahulu adalah menentukan teknik pengodean data yang akan digunakan. Pada transmisi sinyal digital, proses recovery data disisi penerima membutuhkan rangkaian sampling yang beroperasi pada sistem clock. Oleh karena itu, pemilihan jenis pengodean juga akan mempengaruhi sistem yang akan dibangun [8]. Teknik Pengodean data terbagi menjadi 2 yaitu *Return to Zero* dan *Non Return to Zero*. *Return to Zero* (RZ) merupakan deretan bit yang akan ditransmisikan dan dikodekan. Kode bit 1 dinyatakan oleh pulsa positif dan bit 0 dinyatakan dengan pulsa negatif. Untuk setiap bit, level sinyal akan kembali pada level nol sehingga hal tersebut disebut dengan *return to zero* [8]. Sedangkan *Non Return to Zero* deretan bit yang akan ditransmisikan dan dikodekan dalam bentuk jika sebuah sinyal hidup dan mati (unipolar) direpresentasikan sebagai 1 jika melewati sebuah tegangan pulsa atau cahaya yang dimasukkan pada seluruh periode bit dan 0 dimana tidak ada pulsa atau cahaya yang ditransmisikan [8].



Gambar 2. 1 Pengodean *Return to Zero* (RZ) [8]



Gambar 2. 2 Pengodean *Non Return to Zero* (NRZ) [8]

2.5 Fotodetektor

Salah satu perangkat yang digunakan dalam komunikasi optik adalah fotodetektor. Fotodetektor merupakan perangkat semikonduktor yang sensitif terhadap cahaya yang diterima. Perangkat ini berfungsi untuk menangkap cahaya yang dikirimkan dari sisi pengirim, cara kerja dari perangkat ini dengan mentranslasikan sinyal foton menjadi sinyal elektron. Bahan yang paling sering digunakan pada fotodetektor adalah silikon karena dapat menerima cahaya dengan karakteristik panjang gelombang sebesar 2500 – 11,000 nm [6].

Fotodetektor memiliki beberapa kriteria penting agar kinerjanya maksimal, seperti sensitivitas dan responsivitas yang tinggi pada panjang gelombang yang dipakai, cakupan deteksi dari fotodetektor yang luas, ukuran yang kecil dan reliability tinggi, noise rendah, SNR yang tinggi. Terdapat 2 tipe fotodetektor yang digunakan pada komunikasi optik, yaitu fotodetektor *Positive Intrinsic Negative* (PIN) dan *Avalanche Photodetector* (APD) [6].

2.5.1 Fotodetektor PIN

PIN dioda pada dasarnya tersusun dari dioda yang memiliki kutub positif dan kutub negatif atau lebih dikenal dengan sebutan P-N *junction*, dan dipisahkan oleh daerah intrinsik, serta memiliki nilai responsivitas sebesar 0.55 A/W. Saat diberikan tegangan mundur atau *reverse* bias, daerah intrinsik akan mengalami penyempitan. Semakin besar tegangan yang masuk kedalam PIN dioda, semakin kecil daerah intrinsiknya. Untuk mengubah energi foton menjadi arus listrik, maka energi foton harus lebih besar dari energi band-gape yang berasal dari material semikonduktor. Foton melepaskan energi untuk mengeluarkan elektron dari pita valensi menuju pita konduksi sehingga menghasilkan pasangan elektron-neutron [9]. Pada dasarnya seluruh tegangan *reverse* bias diaplikasikan di daerah intrinsik dari fotodetektor tersebut. Daerah intrinsik tersebut memiliki pita yang lebar sehingga foton yang masuk dapat diabsorpsi dengan baik pada daerah intrinsik

2.5.2 *Avalanche Photodetector* (APD)

Pada APD, terjadi multiplikasi foton, sedangkan pada PIN tidak ada. Awalnya Foton masuk ke daerah *avalanche* yang memiliki medan listrik yang tinggi. Kemudian terjadi *impact ionization* yang menyebabkan multiplikasi karena terciptanya pasangan elektron-hole baru yang dimana elektron akan bergerak ke daerah semikonduktor tipe n sedangkan hole akan bergerak ke daerah semikonduktor p. Setelah itu terjadi tegangan mundur atau *reverse* bias yang menghasilkan arus listrik.

2.6 Kanal Atmosfer

Kanal FSO terdiri dari beberapa faktor alami yang membuat daya sinyal yang diterima oleh penerima FSO tergantung pada kondisi atmosfer. Kondisi atmosfer dapat mempengaruhi karakteristik dari pancaran propagasi optik sehingga menyebabkan terjadinya redaman, amplitude yang diinduksi turbulensi, dan fluktuasi fasa. Daya yang diterima oleh penerima FSO pada jarak tertentu diberikan dengan pendekatan [8]

$$P_r = P_t \tau_t \tau_r \frac{D^2}{\theta^2 L^2} \cdot 10^{-\gamma(\lambda)L/10} \quad (2.1)$$

Dengan P_t adalah daya kirim, τ_t adalah efisiensi pengirim, τ_r adalah efisiensi penerima, D adalah diameter menerima, θ adalah sudut divergensi pengirim, L adalah jarak dari pengirim ke penerima, dan $-\gamma(\lambda)$ adalah faktor atenuasi [9].

Redaman yang cukup besar bisa terjadi pada atmosfer yang disebabkan oleh fenomena kabut tebal dan curah hujan yang tinggi yang menyebabkan pelemahan sinyal akibat dari penyerapan partikel photon oleh peristiwa absorpsi dan hamburan sehingga daya cahaya berkurang ketika sampai di sisi receiver. Redaman absorpsi atmosfer dapat dikurangi dengan menggunakan panjang gelombang yang memiliki redaman rendah pada pita yang tampak atau inframerah.

2.6.1 Visibilitas

Salah satu parameter yang bisa digunakan untuk mengukur besarnya redaman di atmosfer adalah visibilitas. Visibilitas adalah jarak pandang atau ukuran jarak pada suatu benda atau cahaya bisa terlihat dengan jelas. Terdapat dua model kanal yang dapat menghitung besar redaman atmosfer menggunakan visibilitas yaitu kanal model Kim dan model Kruse. Persamaan dasar untuk menghitung besarnya redaman atmosfer adalah sebagai berikut [10]:

$$A = \frac{3.91}{V} \left(\frac{\lambda}{550} \right)^{-q} \quad (2.2)$$

Dengan V adalah visibilitas dalam km, λ adalah panjang gelombang dalam nm, q adalah ukuran partikel di atmosfer, dan A adalah redaman atmosfer dalam dB/km. Pendekatan model Kruse bisa digunakan untuk semua kondisi atmosfer. Persamaan untuk kanal model Kruse adalah [10] :

$$q = \begin{cases} 1.6, & V \geq 50 \text{ km} \\ 1.3, & 6 \text{ km} < V < 50 \text{ km} \\ 0.585 V^{1/3}, & V < 6 \text{ km} \end{cases} \quad (2.3)$$

Lalu untuk mengetahui besarnya daya yang diterima bisa dilihat pada persamaan dibawah ini:

$$Pr = Pt \tau_t \tau_r \frac{D^2}{\theta^2 L^2} 10^{A/10} \quad (2.4)$$

P_t adalah daya kirim, τ_t adalah efisiensi pengirim, τ_r adalah efisiensi penerima, D adalah diameter penerima, θ adalah sudut divergensi pengirim, L adalah jarak dari pengirim ke penerima, dan A adalah redaman atmosfer [10].

2.6.2 Intesitas Hujan

Faktor intensitas hujan mampu melemahkan daya LASER dan menyebabkan sistem dalam penurunan kinerja dalam sistem komunikasi FSO secara umum. Cuaca dan karakteristik instalasi adalah faktor yang memungkinkan dapat mengurangi visibilitas dan juga mengganggu kinerja FSO. Model matematika yang diturunkan akan dianalisis dan dikorelasikan dengan data hujan lokal [3].

Kehilangan atau redaman dari efek atmosferik dapat dihitung dengan menggunakan berbagai model yang tersedia dalam literatur propagasi. Redaman dari kekuatan LASER di di atmosfer dijelaskan oleh hukum beer

$$T(R) = \frac{P(R)}{P(0)} = e^{-\beta R} \quad (2.5)$$

Dengan R adalah kisaran tautan dalam meter, $T(R)$ adalah transmitansi pada kisaran R (km), dan $P(R)$ adalah daya LASER pada kisaran R sedangkan $P(0)$ adalah daya LASER pada sumbernya (Watt), dan β adalah koefisien hamburan (km^{-1}).

Partikel-partikel yang tersebar cukup besar sehingga distribusi sudut dari radiasi yang tersebar dapat digambarkan dengan optik geometris. Tetesan hujan, salju, hujan es, tetesan awan, dan kabut tebal akan secara geometri menyebarkan sinyal bit LASER. Hamburan disebut non-selektif karena tidak ada ketergantungan dari koefisien atenuasi pada panjang gelombang LASER. Koefisien hamburan dapat dihitung menggunakan hukum Stroke:

$$\text{rain scat} = \pi a^2 N_a Q_{\text{scat}} \frac{\alpha}{\lambda} \quad (2.6)$$

Pada persamaan (2.10) dinyatakan bahwa (a) adalah radius tetesan hujan (0.1cm), N_a adalah distribusi jatuhnya hujan (cm^{-3}), Q_{scat} adalah koefisien penghamburan dan λ adalah panjang gelombang yang ditransmisikan. Untuk mendapatkan N_a digunakan persamaan berikut:

$$N_a = \frac{Z_a}{4/3(\pi a^3) V_a} \quad (2.7)$$

Pada persamaan (2.11) dinyatakan Z_a adalah intensitas hujan (cm/s) dan V_a adalah limit speed precipitation. Untuk mendapatkan V_a (cm/s) didapatkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$V_a = \frac{2a^2 \rho g}{9\eta} \quad (2.8)$$

P adalah kerapatan air (g/cm^2), g adalah konstanta gravitasi dan η adalah viskositas udara.

2.6 Amplitude Shift Keying (ASK)

Amplitude Shift Keying (ASK) merupakan suatu metode modulasi dengan mengubah amplitudo. Dalam proses modulasi ini kemunculan frekuensi gelombang pembawa tergantung pada ada atau tidaknya sinyal informasi digital. Keuntungan yang diperoleh dari metode ini adalah bit per baud (kecepatan digital) lebih besar sedangkan kesulitannya adalah dalam menentukan level acuan yang dimilikinya, yakni setiap sinyal yang diteruskan melalui saluran transmisi jarak jauh selalu dipengaruhi oleh redaman atau distorsi lainnya.

Bentuk paling sederhana dan paling umum dari ASK beroperasi sebagai saklar, menggunakan kehadiran gelombang pembawa untuk menunjukkan biner satu dan ketiadaan untuk menunjukkan nol biner. Jenis Modulasi disebut on-off keying (OOK) dan digunakan pada frekuensi radio untuk mengirimkan kode Morse (disebut sebagai operasi gelombang kontinyu).

2.7 Bit Error Rate (BER)

Indikator performansi untuk jaringan komunikasi digital adalah *Bit Error Rate* (BER). BER adalah nilai yang menunjukkan besaran perbandingan dari bit yang *error* (NE) dengan bit yang dikirimkan dalam satu kali pengiriman di sistem transmisi (NT). Dalam bentuk persamaan matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$BER = \frac{N_E}{N_T} \tag{2.11}$$

3 Perancangan Sistem

3.1 Parameter Simulasi Sistem

Parameter-parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

Tabel 3.1 Parameter Intesitas Hujan

No	Jenis hujan	Intesitas hujan (mm/hr)
1	Hujan Ringan	0.83
2	Hujan Sedang	2.083
3	Hujan Lebat	4.16
4	Hujan Sangat Lebat	6.25

Tabel 3.2 Parameter Visibilitas

Kondisi kabut	Visibilitas (km)
Thick Fog	0.2
Moderate Fog	0.5
Light Fog	0.770 – 1
Very Clear	23 – 50

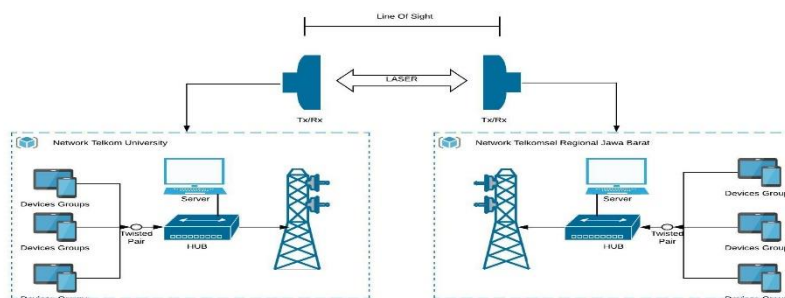
Paramet perangkat FSO yang digunakan pada perancangan ini dijelaskan pada tabel 3.3

Tabel 3.3 Parameter FSO

Paremeter	Nilai
Panjang Gelombang	870 nm, 1310 nm, 1550 nm.
<i>Optical amplifier Gain</i>	10 – 60 dB
CW LASER	0 – 40 dBm
Konstanta gravitasi	980 cm/s ²
Kepadatan air	1 g/cm ²
Viskositas udara	1.8 × 10 ⁻⁴ (g/cm)s
Tetes air	0.001–0.1 cm
Qscat	2

3.2 Arsitektur Perancangan

Pada perancangan ini digunakan arsitektur sistem FSO antar tower seperti pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Modulasi Amplitude Shift Keying (ASK)

Gambar 3.1 menjelaskan bahwa arsitektur sistem FSO terdiri dari dua link head identik yang digunakan sebagai dua node untuk segmen point to point sinar LASER. Di setiap link head terdapat transceiver dan receiver. Untuk memenuhi syarat LOS, setiap link head akan diletakkan pada tower yang terletak di lokasi perancang, yaitu pada Telkom University dan PT Telkomsel Regional Jawa Barat.

Terdapat beberapa faktor dalam menentukan parameter perangkat FSO yang digunakan, diantaranya adalah faktor jarak dan faktor cuaca. Untuk jarak kedua link head yang diukur dari Telkom University hingga PT Telkomsel Regional Jawa Barat secara point to point adalah 5.19 km. Pengukuran jarak antara lokasi perancang, dilakukan menggunakan situs Google Maps.

Sedangkan untuk kondisi cuaca yang mungkin terjadi di lokasi perancangan adalah cerah, hujan ringan, hujan sedang, hujan deras dan hujan sangat lebat sesuai dengan cuaca umum yang terjadi di Bandung, tempat dilakukan perancangan. Dengan diketahuinya kondisi cuaca pada lokasi perancangan, dapat diketahui juga nilai visibilitas dan besar intensitas hujan yang terjadi pada setiap perubahan cuaca. Nilai visibilitas dan besar intensitas hujan yang terjadi pada lokasi perancangan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.3 Nilai Visibilitas dan Intensitas Hujan

No	Cuaca	Visibilitas (m)	Intensitas hujan (mm/hr)
1	Cerah (<i>very clear</i>)	50000	-
2	Hujan Ringan	-	0.83
3	Hujan Sedang	-	2.083
4	Hujan Lebat	-	4.16
5	Hujan Sangat Lebat	-	6.25

3.3 Perhitungan Redaman

Terdapat dua jenis perhitungan dalam menghitung redaman pada perancangan ini, yaitu perhitungan redaman berdasarkan visibilitas dan perhitungan redaman berdasarkan intensitas hujan. Pada perancangan ini cuaca yang digunakan dalam perhitungan visibilitas adalah cuaca cerah. Perhitungan redaman menggunakan pendekatan pada kanal model Kim. Dengan persamaan kanal model Kim seperti berikut:

$$q = \begin{cases} 1.6, & V \geq 50km \\ 1.3, & 6km < V < 50km \\ 0.16V + 0.34, & 1km < V < 6km \\ V - 0.5, & 0.5km < V < 1km \\ 0, & V < 0.5km \end{cases}$$

Untuk nilai visibilitas 50, nilai q yang diperoleh adalah 2.3. Setelah itu dicari nilai A atau redaman atmosfer pada panjang gelombang 785nm dengan menggunakan persamaan (2.2).

$$A = \frac{3.91}{V} \left(\frac{\lambda}{550} \right)^{-q}$$

$$A = \frac{3.91}{50} \left(\frac{785}{550} \right)^{-1.6}$$

$$A = 0.040 \text{ dB/km}$$

Dalam perhitungan redaman berdasarkan intensitas hujan digunakan untuk menghitung redaman pada cuaca hujan sangat lemah, hujan lemah, hujan normal, hujan deras, dan hujan sangat deras. Nilai intensitas hujan harus dalam satuan cm/s, maka dilakukan konversi satuan pada nilai intensitas hujan yang dijelaskan pada tabel 3.5.

Tabel 3.4 Konversi Intensitas Hujan

No	Cuaca	Intensitas hujan (mm/hr)	Intensitas hujan (cm/s)
2	Hujan Ringan	0.83	$2.30 * 10^{-5}$
3	Hujan Sedang	2.083	$5.78 * 10^{-5}$
4	Hujan Lebat	4.16	$11.55 * 10^{-5}$
5	Hujan Sangat Lebat	6.25	$17.36 * 10^{-5}$

Pada contoh perhitungan, dipilih intensitas hujan lebat dengan panjang gelombang 1550nm. Setelah itu ditentukan nilai limit precipitation (V_a) dengan menggunakan persamaan 2.12.

$$V_a = \frac{2a^2 \rho g}{9\eta}$$

$$V_a = \frac{2(0.1)^2 * 1 * 980}{9 * 1.8 * 10^{-4}}$$

$$V_a = 1.2099 * 10^4 \text{ cm/s}$$

Setelah mendapatkan nilai V_a , dilakukan perhitungan distribusi hujan (N_a) dengan menggunakan intensitas hujan normal dengan persamaan 2.11.

$$Na = \frac{Z_a}{4/3 (\pi a^3) V_a}$$
$$Na = \frac{11.55 * 10^{-5}}{4/3 (\pi * 0.1^3) * 1.2098 * 10^4}$$
$$Na = 2.27 * 10^{-6} \text{ cm}^{-3}$$

Dengan diperolehnya nilai N_a , dapat dilakukan perhitungan redaman hujan dengan menggunakan persamaan 2.10.

$$rain \text{ scat} = \pi a^2 N_a Q_{scat} \frac{\alpha}{\lambda}$$

$$rain \text{ scat} = \pi * 0.1^2 * 2.27 * 10^{-6} * 2 * \frac{0.1}{1550 * 10^{-12}}$$

$$rain \text{ scat} = 9.20 \text{ dB/km}$$

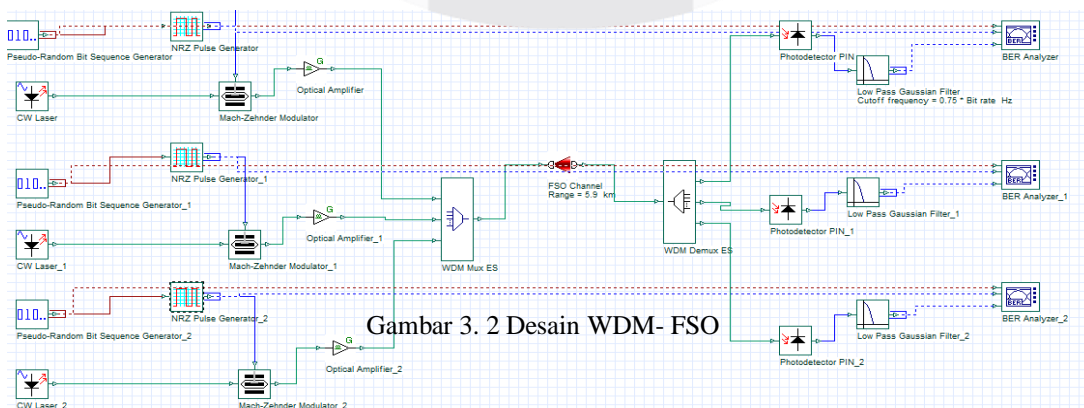
Setelah melakukan perhitungan pada semua cuaca yang terjadi pada perancang terhadap tiga panjang gelombang yang telah ditentukan, maka didapatkan kesimpulan seperti pada gambar grafik dibawah ini.



Gambar 3. 2 Perbandingan Nilai Redaman

3.4 Desain Simulasi

Dalam proses perancangan dibuat sebuah model sistem WDM pada FSO dengan menggunakan *Softwere Optisystem*.



Gambar 3. 3 Desain Sistem

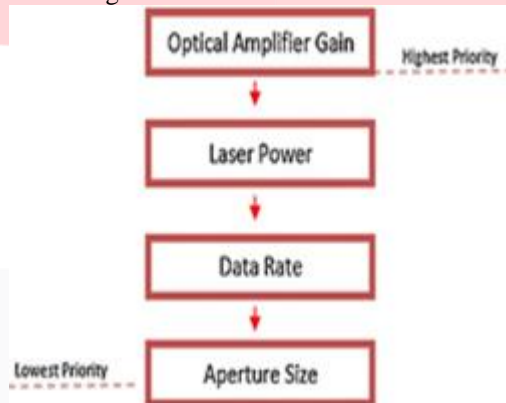
Gambar 3.3 menunjukkan tata letak tautan simulasi. Bagian pemancar terdiri dari Generator PRBS yang menghasilkan urutan biner acak atau data utama untuk informasi yang akan dikirimkan. Urutan biner ini kemudian dikonversikan menjadi sinyal listrik oleh generator NRZ Pulse. Modulator melakukan modulasi intensitas keluaran laser yang berupa sinyal optik untuk daya yang diberikan dari output NRZ Pulse. Selanjutnya, sinyal diperkuat oleh penguat optik dan juga output dari penguat optik dari sumber optik yang berbeda. Lalu, output tersebut akan

dikumpulkan oleh WDM Multiplexer yang nantinya akan dilakukan pengiriman sinyal ke FSO. Saluran FSO melemahkan kekuatan sinyal sesuai dengan karakteristiknya.

Di sisi penerima, sinyal optik yang diterima akan dikirimkan ke WDM de-Multiplexer. Sinyal yang diterima oleh WDM de-Multiplexer akan dipisahkan kembali dan akan diterima oleh fotodetektor PIN. Respon dari fotodetektor PIN menentukan tingkat atenuasi yang dapat dimengerti. Fotodetektor menghasilkan sinyal listrik sesuai dengan *optical beam*. Blok dibagian penerima berikutnya adalah *low pass Bessel filter* yang berfungsi untuk menyaring *noise* dari sinyal. *BER Analyzer* digunakan sebagai alat ukur yang menghasilkan diagram mata dengan faktor Q maksimum, minimum BER, dan lain-lain

3.5 Optimasi Parameter FSO

Dengan melihat nilai atenuasi di setiap cuaca yang terjadi pada perancangan ini, beberapa parameter harus disorot untuk melakukan optimasi berdasarkan struktur optimasi. Parameter yang dimaksud seperti LESER, laju data, penguat optik, ukuran aperture pemancar/receiver harus dioptimalkan sesuai dengan prioritas tertinggi sehingga dapat mengetahui nilai parameter yang efisien untuk mencapai kinerja FSO yang terbaik. Namun, dengan mengevaluasi parameter perngoptimalan terbaik, beberapa parameter akan disesuaikan dengan prioritas tinggi ke prioritas rendah. Proses optimasi pada parameter dilakukan hingga mencapai nilai target BER minimum. Nilai BER yang dicapai yaitu lebih kecil atau sama dengan 10^{-9} .



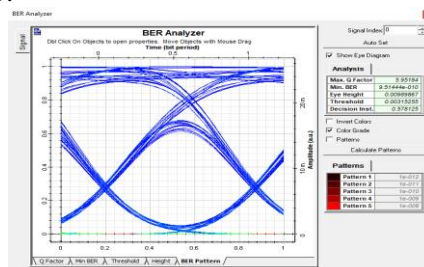
Gambar 3. 4 Struktur Prioritas

Proses optimasi dilakukan dengan mengikuti struktur prioritas yang dijelaskan pada gambar 3.4. Metode yang dilakukan dalam optimasi parameter ini adalah dengan menggunakan metode trial and error. Setelah dilakukan proses optimasi pada seluruh cuaca yang terjadi pada lokasi perancangan, maka didapatkanlah hasil optimasi setiap cuaca seperti dibawah ini

Tabel 3. 6 Parameter Optimasi

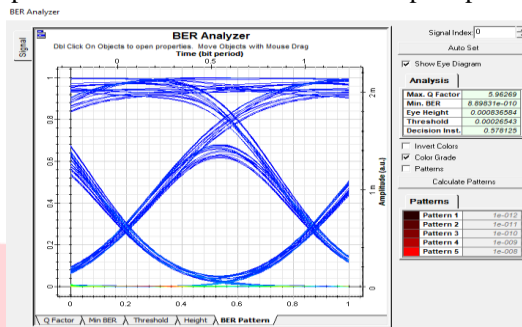
No.	Weather Condition	Attenuation (dB/Km)	Receiver Aperture (cm)	Bit Rate (Gbps)	Laser Power (dBm)	Optical amplifier gain (dBm)
1	Cerah	0.01	30 cm	9.0	30	15
2	Hujan ringan	1.83	30 cm	9.0	30	15
3	Hujan sedang	4.62	30 cm	8.5	30	15
4	Hujan lebat	9.20	30 cm	7.5	33	35
5	Hujan sangat lebat	13.86	50 cm	4.0	36.02	52

Pengujian keberhasilan proses optimasi dapat diketahui dengan melihat nilai BER yang dihasilkan dari optimasi tersebut. BER merupakan tolak ukur untuk mengetahui performansi untuk jaringan komunikasi digital. Dalam hal ini, nilai BER menjadi acuan untuk mengetahui performansi komunikasi FSO pada perancangan ini. Dengan nilai parameter yang didapat dari hasil optimasi, didapatkan hasil performansi BER pada cuaca cerah sebesar 9.51×10^{-10} seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. 5.



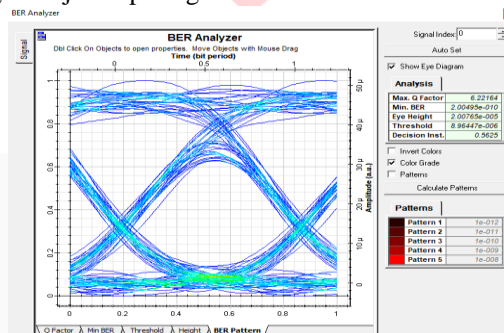
Gambar 3. 5 Hasil BER Cuaca Cerah

Cuaca yang menggunakan nilai parameter yang sama juga ditunjukkan oleh cuaca hujan ringan. Cuaca hujan ringan memiliki nilai atenuasi yaitu sebesar 1.83 dB/Km. Dalam hal ini cuaca hujan diketahui memiliki nilai atenuasi yang lebih besar dibandingkan cuaca cerah. Hal tersebut dikarenakan terdapat tetesan hujan yang dapat menghambat proses transmisi data dan memperkecil daya yang diterima oleh receiver. Melalui pengujian dengan melakukan proses optimasi pada parameter, didapatkan nilai BER sebesar 8.89×10^{-10} seperti pada gambar berikut.



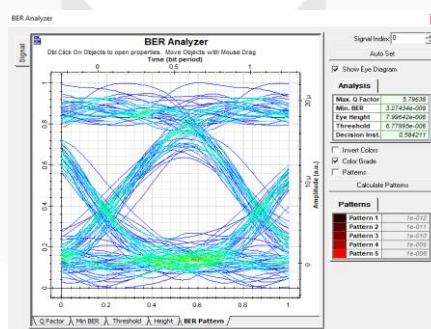
Gambar 3. 6 Hasil BER Cuaca Hujan Ringan

Cuaca selanjutnya yang akan dianalisis adalah hujan sedang. Cuaca tersebut memiliki intensitas hujan yang lebih besar dibandingkan hujan ringan. Nilai intensitas hujan pada cuaca hujan sedang adalah sebesar 6.25 mm/hr. Nilai redaman pada cuaca hujan sedang adalah sebesar 4.62 Db/Km. Nilai BER yang dihasilkan pada cuaca hujan ringan adalah 2.00×10^{-10} seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



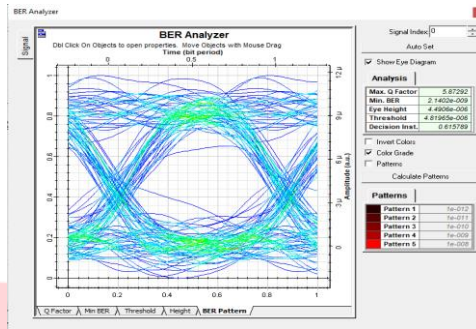
Gambar 3. 7 Hasil BER Cuaca Hujan Sedang

Cuaca yang akan dianalisis selanjutnya adalah cuaca hujan lebat. Cuaca hujan lebat memiliki nilai redaman yang lebih tinggi dibandingkan dengan cuaca hujan ringan yang menyebabkan adanya perubahan yang signifikan pada parameter yang akan dioptimasi. Nilai redaman cuaca hujan lebat adalah 9.20 dB/Km. Dengan menggunakan nilai parameter yang sudah dioptimasi, menghasilkan nilai BER sebesar 3.27×10^{-9} seperti gambar dibawah ini.



Gambar 3. 8 Hasil BER Cuaca Hujan Lebat

Cuaca terakhir yang akan dianalisis adalah cuaca hujan sangat lebat. Cuaca ini merupakan cuaca yang memiliki nilai redaman paling tinggi dibandingkan cuaca lainnya. Nilai redaman yang dihasilkan dari cuaca tersebut adalah sebesar 13.86 dB/Km. Nilai intensitas hujan yang dimiliki oleh cuaca hujan sangat lebat lebih tinggi dibandingkan cuaca hujan lainnya, yaitu sebesar 6.25 mm/hr. Pada cuaca ini diperlukan perubahan yang lebih signifikan pada parameter yang akan dioptimasi di kondisi cuaca ini. Dengan menggunakan nilai parameter yang sudah dilakukan optimasi, didapatkanlah hasil performansi BER pada cuaca hujan sangat lebat adalah 2.14×10^{-9} seperti pada gambar berikut.



Gambar 3. 9 Hasil BER Cuaca Hujan Sangat Lebat

4 Kesimpulan

Perancangan teknologi FSO di Telkom university menuju PT Telkom Regional Jawa Barat dengan melakukan simulasi pada Optysistem berhasil menemukan nilai paramater yang efisien untuk segala kondisi cuaca umum yang terjadi dilokasi perancangan. Melalui perhitungan redamann pada setiap cuaca, dapat diketahui bahwa panjang gelombang yang sangat baik untuk digunakan pada perancangan ini adalah panjang gelombang 1550 nm.

Dengan menyoroti parameter yang dioptimasi berdasarkan struktur prioritas, dapat diketahui hasil BER yang diperoleh pada setiap kondisi cuaca yang terjadi dilokasi perancangan. Untuk cuaca cerah dan hujan ringan, diperoleh hasil BER pada masing-masing sebesar 9.51×10^{-10} dan 8.89×10^{-10} . Pada cuaca hujan sedang, hasil BER yang diperoleh dengan menggunakan nilai parameter yang sudah dioptimasi adalah sebesar 2.00×10^{-10} . Sedangkan untuk cuaca hujan lebat dan hujan sangat lebat, hasil BER yang diperoleh setelah dilakukan optimasi pada parameter adalah sebesar 3.27×10^{-9} dan 3.27×10^{-9} .

Cuaca cerah dan hujan ringan memiliki nilai parameter yang paling efisien dibandingkan nilai parameter pada cuaca lainnya. Pada kondisi tersebut, laju data sebesar 9.0 gbps berhasil diciptakan dengan parameter yang digunakan pada kedua cuaca tersebut adalah 35 dBm pada parameter optical amplifier gain, 30 dBm pada daya LASER dan receiver aperture yang digunakan sebesar 30cm. Hasil BER yang diperoleh dari cuaca cerah dan cuaca hujan ringan adalah $9,51 \times 10^{-10}$ dan $8,89 \times 10^{-10}$. Untuk Nilai parameter terbesar yang di input pada proses optimasi terjadi pada kondisi hujan sangat lebat. Untuk parameter dengan nilai redaman sebesar 13.86 dB/Km, dirancang laju bit 4.0 Gbps. Daya LESER yang digunakan 36.02 dBm., nilai *receiver aperture* yang digunakan adalah sebesar 50 cm. dan *optical amplifier gain* yang digunakan adalah sebesar 52 dBm. Dengan menggunakan nilai parameter tersebut didapatkan hasil performansi BER adalah sebesar 2.14×10^{-9} . Hal tersebut terjadi dikarenakan redaman yang terjadi akibat cuaca tersebut sangat besar untuk perancangan FSO dengan jarak 5.9 Km. Dengan nilai redaman sebesar itu perlu dilakukan perubahan yang signifikan pada nilai parameter yang akan dioptimasi.

Daftar Pustaka:

- [1] Octiana Widyarena, Gamantyo Hendrantoro, dan Achmad Mauludiyanto. 2012. Kinerja Sistem Komunikasi FSO (Free Space Optics) Menggunakan Cell-site Diversity di Daerah Tropis.
- [2] A. A. B. Raj, Free Space Optical Communication: System Design, Modeling, Characterization and Dealing With Turbulance, Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2016.
- [3] Optimization of free space optics parameters: An optimum solution for bad weather conditions. Hilal A. Fadhila,*, Angela Amphawanb, Hasrul A.B. Shamsuddina, Thanaa Hussein Abda,Hamza M.R. Al-Khafajia, S.A. Aljunida, Nasim Ahmeda
- [4] Hindawi Publishing Corporation, "Free Space Optics: Current Applications and Future Challenges," International Journal of Optics, p. 8, 2015.
- [5] H. Kaushal and G. Kaddoum, "Free Space Optical Communication: Challenges and Mitigation Techniques," p. 28, 2016.
- [6] W. Popoola, Z. Ghassemlooy and S. Rajbhandari, Optical Wireless Communications, Taylor & Francis Group, LLC, 2013.
- [7] F. Rashidia, J. Hea, L. Chena, Spectrum slicing WDM for FSO communication systems under the heavy rain weather, College of Computer Science and Electronic Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China, 2017
- [8] A. F. Isnawati, Riyanto, dan A. E. Wijayanti, Pengaruh Dispersi Terhadap Kecepatan Data Komunikasi Optik Menggunakan Pengkodean Return To Zero (Rz) Dan Non Return To Zero (Nrz), Jurnal Infotel Volume 1, Nomor 2, November, 2009
- [9] Pragnya Ghita Maulana, Hambali Akhmad, Pamukti Brian "Perbandingan Performansi antara Photodetector PIN dan APD pada sistem jaringan TWDM-PON" Universitas Telkom Bandung 2018.
- [10] Muhammad Ihsan Mutaharrik, Nana Rachmana Syambas, Brian Pamukti§ School of Electrical Engineering Bandung Institute of Technology, Indonesia," Performance of On-Off Keying Modulation for Free Space Optic Communication".
- [11] D. Shah and D. Kothari, "Optimization of 2.5 Gbps WDM-FSO link range under different rain conditions in Ahmedabad," 2014 Annual IEEE India Conference (INDICON), Pune, 2014, pp. 1-4.