

Perancangan Jaringan *Free-Space Optic* untuk Jaringan Komunikasi di Gedung Tokong Nanas

1st Ainun Mardyah
 Fakultas Teknik Elektro
 Telkom University
 Bandung, Indonesia
 inunmrdyah@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Akhmad Hambali
 Fakultas Teknik Elektro
 Telkom University
 Bandung, Indonesia
 ahambali@telkomuniversity.ac.id

3rd Rizky Satria
 Fakultas Teknik Elektro
 Telkom University
 Bandung, Indonesia
 satria.riz2007@gmail.com

Abstrak — Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem jaringan komunikasi berbasis *Free-Space Optic* (FSO) guna mengatasi keterbatasan cakupan sinyal dan ketergantungan pada kabel optik konvensional di Gedung Tokong Nanas, Telkom University. Sistem FSO dirancang dengan konfigurasi *point-to-point* menggunakan panjang gelombang 1550 nm dan jarak maksimum 3 km. Sampel dalam penelitian ini mencakup lintasan komunikasi dari STO Cijawura hingga Gedung Tokong Nanas dengan melibatkan dua titik hop. Analisis performa teknis menunjukkan bahwa sistem FSO memenuhi standar kelayakan dengan nilai Bit Error Rate (BER) $\leq 10^{-9}$, Signal-to-Noise Ratio (SNR) ≥ 22 dB, Q-Factor ≥ 6 , dan Link Power Budget (LPB) ≤ -28 dBm. Nilai BER yang sangat rendah menunjukkan minimnya kesalahan transmisi data, sedangkan SNR dan Q-Factor yang tinggi mengindikasikan kualitas sinyal yang baik.

Kata kunci— Bit Error Rate (BER), Free-Space Optics (FSO), Link Power Budget (LPB), Q-Factor, Signal-to-Noise Ratio (SNR).

I. PENDAHULUAN

Gedung Tokong Nanas di Telkom University berfungsi sebagai pusat kegiatan akademik yang melayani ribuan mahasiswa dari berbagai program studi. Dalam era digitalisasi pendidikan, aktivitas pembelajaran semakin bergantung pada media daring dan sistem informasi terintegrasi, seperti *Learning Management System* (LMS) dan *Integrated Academic Information System* (iGracias) [1]. Hal ini menuntut infrastruktur jaringan komunikasi yang cepat, stabil, dan merata di seluruh area gedung.

Namun, infrastruktur jaringan saat ini belum sepenuhnya memenuhi kebutuhan tersebut. Struktur gedung yang kompleks menyebabkan tantangan dalam distribusi sinyal, dengan beberapa area mengalami sinyal lemah atau tidak terjangkau. Tingginya densitas perangkat yang terhubung secara simultan, terutama pada jam sibuk, menyebabkan penurunan *bandwidth* dan peningkatan latensi, yang berdampak pada efektivitas proses belajar mengajar [2].

Konektivitas dari Sentral Telepon Otomat (STO) Cijawura ke kampus masih mengandalkan jaringan fiber optik konvensional yang rentan terhadap gangguan fisik dan cuaca. Untuk mengatasi tantangan ini, teknologi jaringan nirkabel seperti *Free-Space Optic* (FSO) mulai dipertimbangkan. FSO menggunakan cahaya inframerah atau laser sebagai media transmisi data [3], menawarkan

throughput tinggi dan latensi rendah, serta berfungsi sebagai sistem redundansi untuk mengalihkan trafik jika jalur fiber optik utama mengalami gangguan.

Penelitian ini bertujuan merancang sistem jaringan komunikasi berbasis FSO yang dapat mengatasi keterbatasan cakupan sinyal dan ketergantungan pada kabel optik konvensional di Gedung Tokong Nanas. Dengan perancangan yang efisien, diharapkan sistem ini dapat meningkatkan performa jaringan dan mendukung ekosistem pembelajaran digital di kampus.

II. KAJIAN TEORI

A. Free-Space Optics (FSO)

Free-Space Optics (FSO) adalah sistem komunikasi yang memanfaatkan udara bebas sebagai media propagasi, menggunakan sorotan cahaya untuk mengirim data, suara, dan video secara simultan dengan throughput Gigabit Ethernet. Sumber cahaya yang digunakan dapat berupa *Light Emitting Diode* (LED) atau LASER [4]. FSO memiliki *bandwidth* besar yang memungkinkan data rate tinggi. Sistem FSO bersifat *full duplex*, memungkinkan komunikasi dua arah, dan menawarkan tingkat keamanan yang lebih baik dibandingkan teknologi *wireless* lainnya, karena pancaran cahaya LASER yang terfokus sulit dideteksi oleh alat pengukur spektrum [5]. Namun, FSO juga memiliki keterbatasan. Kualitas jaringan dipengaruhi oleh faktor alam, seperti cuaca, yang dapat menyebabkan fluktuasi iradiasi dan sintilasi, sehingga menurunkan *Signal to Noise Ratio* (SNR). Redaman geometri terjadi akibat pelebaran cahaya selama transmisi, di mana semakin jauh jarak antara pengirim dan penerima, semakin besar pelebaran cahaya. Selain itu, partikel foton dapat mengalami pelembahan akibat absorpsi dan yang mengurangi daya cahaya saat mencapai penerima.

B. LASER

LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) adalah perangkat yang memancarkan cahaya dengan karakteristik monokromatik, koheren, dan terfokus. Cahaya yang dihasilkan memiliki fase dan arah yang sama, serta pancarannya sempit. Prinsip kerja LASER melibatkan pemantulan cahaya di dalam perangkat, di mana salah satu ujungnya memiliki hampir 100% pemantulan, sehingga menghasilkan cahaya yang terfokus dan sempit [6].

C. Fotodetektor

Fotodetektor adalah perangkat semikonduktor yang sensitif terhadap cahaya, berfungsi untuk menangkap cahaya yang dikirim dari sisi pengirim dan mengubah sinyal foton menjadi sinyal elektron. Bahan yang umum digunakan untuk fotodetektor adalah silikon, yang dapat menerima cahaya dengan panjang gelombang antara 2500 – 11,000 nm [6]. Untuk kinerja maksimal, fotodetektor harus memiliki sensitivitas dan responsivitas tinggi, cakupan deteksi yang luas, ukuran kecil, keandalan tinggi, *noise* rendah, dan *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) yang tinggi. Terdapat dua tipe fotodetektor yang umum digunakan dalam komunikasi optik: *Positive Intrinsic Negative* (PIN) dan *Avalanche Photodetector* (APD) [6].

D. Pengaruh kondisi cuaca

Kondisi cuaca seperti hujan, kabut, dan salju dapat mempengaruhi performa FSO dengan menyebabkan redaman sinyal yang tinggi [7]. Oleh karena itu, desain sistem FSO harus mempertimbangkan faktor-faktor atmosfer yang dapat mempengaruhi transmisi.

E. Google Earth Pro

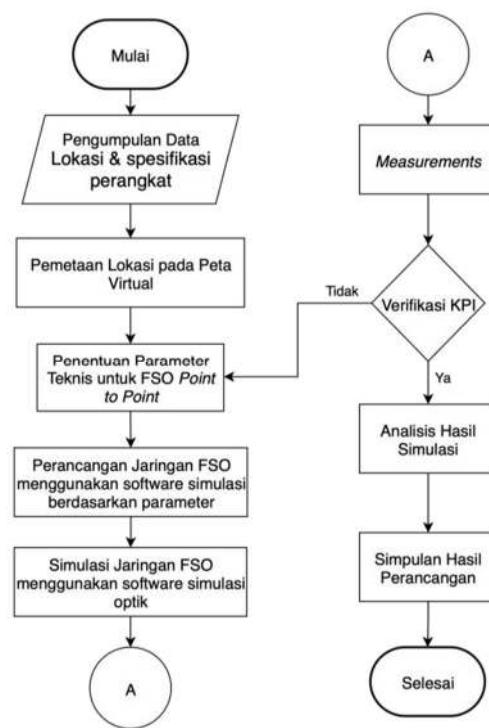
Google Earth merupakan perangkat lunak pemetaan geospasial yang dikembangkan oleh Google dan kini dikenal dengan *Google Earth Pro*, tersedia secara gratis di situs resminya. Aplikasi ini menampilkan citra satelit, foto udara, dan data kartografi 3D. fitur utamanya meliputi tampilan relief wilayah dari masa lalu, informasi lokasi terbaru, overlay data vektor atau raster untuk visualisasi 3D, integrasi data SIG dalam format KML/KMZ, serta pengukuran radius, area, dan keliling permukaan bumi. Dengan kemampuannya tersebut, *Google Earth* mendukung berbagai kebutuhan penelitian geospasial [8].

F. Optisystem

OptiSystem adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh *Optiwave* untuk merancang dan mensimulasikan berbagai jenis aringna fiber optic, serta berperan penting dalam sistem komunikasi optik. Perangkat ini menyediakan library berisi berbagai komponen, seperti *Optical Power Meter* (OPM) untuk mengukur kehilangan daya dan *Optical Time Domain Reflectometer* (OTDR) untuk mendeteksi gangguan atau menganalisis kondisi serat optik. Selain itu, *OptiSystem* juga mendukung perhitungan *power link budget* guna mengevaluasi performa jaringan optik [9].

III. METODE

Bab ini menjelaskan tahapan dan prosedur yang digunakan dalam penelitian, mulai dari perumusan kebutuhan, perancangan sistem, hingga tahap pengujian dan evaluasi. Setiap langkah disusun secara sistematis agar proses penelitian dapat menghasilkan data dan analisis yang valid sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan.



GAMBAR 1
Flowchart Implementasi FSO

Gambar 1 menjelaskan tahapan penelitian dalam perancangan dan simulasi sistem *Free Space Optic* (FSO) secara point-to-point. Penelitian diawali dengan pengumpulan data lokasi dan spesifikasi perangkat yang mencakup koordinat titik pemancar dan penerima, serta parameter teknis seperti daya pancar, *beam divergence*, dan ukuran *aperture*. Data lokasi yang diperoleh kemudian dipetakan pada peta virtual menggunakan perangkat lunak *Google Earth Pro* untuk menentukan jarak lintasan dan memvisualisasikan jalur transmisi. Selanjutnya dilakukan penentuan parameter teknis sistem FSO yang akan digunakan sebagai acuan dalam proses perancangan. Berdasarkan parameter tersebut, jaringan FSO dirancang menggunakan perangkat lunak simulasi optik, dalam hal ini *OptiSystem*, untuk memodelkan kinerja sistem. Hasil simulasi kemudian diverifikasi berdasarkan *Key Performance Indicator* (KPI) yang telah ditentukan. Apabila hasil simulasi belum memenuhi KPI, maka parameter disesuaikan dan simulasi diulang hingga mendapatkan hasil yang optimal. Jika KPI telah terpenuhi, dilakukan analisis hasil simulasi dan penyusunan kesimpulan dari perancangan sistem yang telah dilakukan.

TABEL 1
Parameter KPIs FSO

FSO Requirements	KPIs FSO	Target
<i>Wavelength</i>	850-1550	1550
<i>Signal to Noise Ratio</i> (SNR)	22 dB	≥ 22 dB
<i>Q-Factor</i>	6	≥ 6
<i>Link Power Budget</i> (LPB)	-28 dBm	≥ -28 dBm
<i>Bit Error Rate</i> (BER)	10^{-6}	$\geq 10^{-6}$

Tabel 1 menunjukkan parameter *Key Performance Indicators* (KPI) sistem *Free Space Optic* (FSO) yang digunakan dalam

penelitian ini. Panjang gelombang ditetapkan pada 1550 nm karena memiliki redaman atmosfer rendah. Nilai SNR minimal yang ditetapkan adalah 22 dB untuk menjaga kualitas sinyal. *Q-Factor* ditargetkan ≥ 6 agar tingkat kesalahan bit rendah. *Link Power Budget* ≥ -28 dBm untuk memastikan daya terima melebihi sensitivitas penerima, dan BER ditetapkan $\geq 10^{-6}$ untuk menjamin keandalan transmisi data.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam perancangan sistem *Free-Space Optic* (FSO) ini, dilakukan pemetaan jalur transmisi menggunakan *Google Earth Pro* untuk menentukan rute lintasan dari STO Cijawura menuju gedung Tokong Nanas dengan melewati HOP 1-HOP 2. Tujuan pemetaan ini untuk mengetahui jarak setiap lintasan, memvisualisasikan posisi geografis titik pemasar dan penerima, serta menjadi dasar perhitungan parameter teknis seperti Link Power Budget dan redaman atmosfer.



GAMBAR 2
Drafting jalur FSO

Gambar 2 menunjukkan hasil pemetaan jalur FSO yang menghubungkan empat titik utama, yaitu Tower STO Cijawura - Tower Hop 1 dengan jarak 1,78 km, lalu Hop 1 - Hop 2 (Gedung PutI) dengan jarak 2,28 km dan lintasan yang terakhir yaitu Hop 2 - Gedung Tokong Nanas dengan jarak 0,34 km. Garis merah merepresentasikan lintasan transmisi optik antar titik, sedangkan penanda lokasi berwarna kuning menunjukkan koordinat geografis yang diambil dari *Google Earth Pro*. Informasi ini digunakan untuk mengitung jarak lintasan, menganalisis kemungkinan hambatan pada jalur, serta menentukan parameter input pada simulasi *Optisystem*.

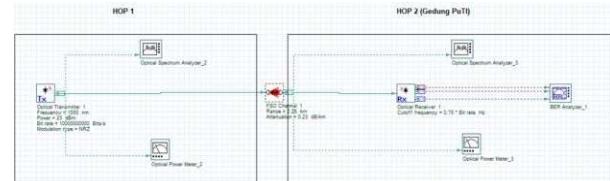
TABEL 2
Parameter Simulasi FSO

Optical Transmitter	
Wavelenght	1550 nm
Power Transmitter	0-23 dbm
Bit Rate	10 Gbps
Modulasi	NRZ
FSO Channel	
Transmitter aperture	20 cm
Receiver aperture	45 cm
Beam divergence	2 mrad
Optical Receiver	
Jenis photodetector	APD

TABEL 3
Redaman Atmosfer Berdasarkan Kondisi Cuaca

Kondisi Cuaca	Redaman (dB/km)
Cerah	0.23
Hujan Ringan	6.27
Hujan Sedang	9.64
Hujan Berat	19.2
Berkabut	0.55
Berasap	15.5

Setelah menentukan parameter yang digunakan untuk implementasi FSO, Langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi pada *OptiSystem* untuk setiap rute dan cuaca. Proses ini memungkinkan simulasi kinerja jaringan guna mendapatkan nilai performansi seperti daya terima, SNR, *Q-Factor*, dan BER.



GAMBAR 3
Konfigurasi Simulasi *OptiSystem* HOP 1- HOP 2 cuaca cerah

TABEL 4
Hasil Simulasi STO – HOP 1

Jarak 1.75 km					
Cerah					
Power Tx (dBm)	BER	SNR (dB)	Q-Factor	Power Rx (dBm)	LPB
0	0	48.33	130.49	-21.29	-19.35
Hujan Ringan					
3	0	39.45	46.96	-29.10	-27.72
Hujan Sedang					
9	0	39.91	49.50	-28.76	-27.62
Hujan Berat					
23	0	38.33	41.26	-31.49	-30.35
Berkabut					
0	0	47.62	120.26	-21.85	-20.71
Berasap					
19	0	39.87	49.30	-29.02	-27.87

TABEL 5
Hasil Simulasi HOP 1 – HOP 2

Jarak 2.28 km					
Cerah					
Power Tx (dBm)	BER	SNR (dB)	Q-Factor	Power Rx (dBm)	LPB
Hujan Ringan					
0	0	45.60	95.32	-23.60	-22.57
Hujan Sedang					
9	0	41.51	53.01	-28.38	-27.34
Hujan Berat					
17	0	39.63	47.92	-28.99	-27.02
Berkabut					
23	2.52×10^{-11}	22.34	6.55	-43.68	-42.82
Berasap					
0	0	44.23	81.45	-24.33	-23.30
23	5.81×10^{-17}	34.53	26.66	-35.42	-34.39

TABEL 6
Hasil Simulasi HOP 2 – Gedung Tokong Nanas

Jarak 0.34 km					
Cerah					
Power Tx (dBm)	BER	SNR (dB)	Q-Factor	Power Rx (dBm)	LPB
0	0	60.89	554.09	-8.50	-5.59
Hujan Ringan					
0	0	58.04	399.26	-10.55	-7.65
Hujan Sedang					
0	0	56.74	343.91	-11.69	-8.79
Hujan Berat					
0	0	53.90	247.95	-14.95	-12.05
Berkabut					
0	0	59.78	487.88	-8.60	-5.70
Berasap					
0	0	55.14	283.9	-13.93	-10.79

Setelah melakukan simulasi desain menggunakan *OptiSystem*, hasil yang diperoleh untuk ketiga rute menunjukkan performa yang baik dan memenuhi target ITU-R F.2106-1. ini berarti bahwa semua parameter evaluasi kritis, seperti *Link Power Budget* (LPB), *Signal-to-Noise Ratio* (SNR), *Q-Factor*, dan *Bit Error Rate* (BER) telah sesuai dengan batasan yang ditetapkan oleh standar tersebut.

V. KESIMPULAN

Berbasis pemetaan lintasan di *Google Earth Pro* dan simulasi *OptiSystem*, rancangan jaringan *Free-Space Optic* (FSO) pada λ 1550 nm, kapasitas 10 Gbps, dan jarak terjauh 2,28 km menunjukkan performa yang umumnya memenuhi KPI. Daya terima optik (*Power Rx*) terbaik tercatat sebesar $-8,50$ dBm pada kondisi cuaca cerah, sedangkan terendah sebesar $-43,68$ dBm pada skenario hujan berat. *Link Power Budget* (LPB) berada pada rentang $-5,59$ dB hingga $-42,82$ dB nilai yang melewati batas minimum -28 dB terjadi pada cuaca ekstrem dan lintasan terpanjang, sehingga menjadi catatan untuk optimasi daya pancar, diameter aperture, atau alignment. Parameter *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) mencapai 554,09 dB pada kondisi terbaik dan tidak kurang dari 22,34 dB pada kondisi terburuk, tetapi melampaui ambang batas 22 dB. Nilai *Q-Factor* berada di kisaran 6,55–554,09 seluruhnya di atas batas minimum 6, yang konsisten dengan *Bit Error Rate* (BER) di kisaran $\leq 10^{-9}$ dan hanya meningkat pada skenario hujan lebat menjadi $2,52 \times 10^{-11}$. Secara keseluruhan, konfigurasi FSO point-to-point yang diusulkan layak diimplementasikan sebagai koneksi utama maupun redundansi jaringan di lokasi studi, dengan rekomendasi penguatan margin daya untuk mengatasi degradasi performa pada kondisi cuaca ekstrem.

REFERENSI

- [1] F. Halim and J. Kahayan, "Perancangan Jaringan Fiber to the Building pada Gedung Tokong Nanas dengan Multi Aplikasi."
- [2] A. Bašić, A. Begović, and N. Goran, "On Selection of Access Network Technology by using Different Metrics in a Fixed Network: A Technology Investment and Cost Approach," in *2024 International Symposium ELMAR*, 2024, pp. 185–190. doi: 10.1109/ELMAR62909.2024.10694333.
- [3] R. A. W. Permata, A. Hambali, and M. Maulana Irfan, "Desain Dan Implementasi Website Untuk Kalkulasi Komputasi Performansi Jaringan Free Space Optics," *Optik (Stuttg)*, no. 12, pp. 1–3, 2024, doi: 10.1016/j.ijleo.2013.11.066.
- [4] O. Widyarena, G. Hendrantoro, and A. Mauludiyanto, "Kinerja Sistem Komunikasi FSO (Free Space Optics) Menggunakan Cell-site Diversity di Daerah Tropis," 2012. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/277838230>
- [5] A. Malik and P. Singh, "Free Space Optics: Current Applications and Future Challenges," 2015, *Hindawi Publishing Corporation*. doi: 10.1155/2015/945483.
- [6] Z. . Ghassemlooy, W. . Popoola, and S. . Rajbhandari, *Optical Wireless Communications*. CRC Press, 2017.
- [7] G. Ibram Zuhdy, K. Sujatmoko, and D. M. Saputri, "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."
- [8] E. Budifitriani, "PEMANFAATAN CITRA SATELIT GOOGLE EARTH SEBAGAI DATA ANALISIS PENILAIAN PEMULIHAN LAHAN," Aug. 2022.
- [9] A. Nugraha, S. Akbar, and Purnama Faradila, "Perencanaan Jaringan Backhaul Menggunakan Optik Gigabit Passive Optical Network (GPON) di Daerah Kabupaten Pegunungan Bintang," 2025.