

# IMPLEMENTASI *PROTOTYPE WIRELESS BACKHAUL* MENGGUNAKAN *FREE SPACE OPTIC*

1<sup>st</sup> Akhmal Febrian Vito Deannova  
School of Electrical Engineering  
Telkom University  
Bandung, Indonesia  
[vitodeannova20@gmail.com](mailto:vitodeannova20@gmail.com)

2<sup>nd</sup> Kevin Balyan Sionader  
School of Electrical Engineering  
Telkom University  
Bandung, Indonesia  
[kbalyan07@gmail.com](mailto:kbalyan07@gmail.com)

3<sup>rd</sup> Tarisa Rizka Ghaisanni Rioeh  
School of Electrical Engineering  
Telkom University  
Bandung, Indonesia  
[tarisarizkaghaisanni.rioeh@gmail.com](mailto:tarisarizkaghaisanni.rioeh@gmail.com)

Perkembangan teknologi komunikasi nirkabel mendorong lahirnya solusi alternatif yang efisien, salah satunya adalah *Free Space Optic* (FSO), yaitu sistem komunikasi optik yang memanfaatkan cahaya sebagai media transmisi tanpa kabel. Teknologi ini menawarkan fleksibilitas instalasi, biaya rendah, serta kebal terhadap interferensi elektromagnetik. Namun, kinerjanya sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti intensitas cahaya dan cuaca. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem FSO sederhana menggunakan laser *continuous wave* dan sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) berbasis mikrokontroler, dengan skema komunikasi point-to-point dan modulasi biner sederhana. Pengujian dilakukan pada berbagai kondisi waktu dan cuaca untuk mengevaluasi performa sistem. Hasil menunjukkan performa optimal terjadi pada malam hari dengan kecepatan transfer rata-rata 83,85 bps dan tingkat keberhasilan data 91,55%, sedangkan pada siang hari dan cuaca panas performa menurun menjadi 54,54 bps dan 81,25%. Jarak efektif maksimum tercapai pada 13 meter dalam kondisi minim cahaya. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem FSO yang dikembangkan memiliki potensi sebagai solusi komunikasi alternatif jarak pendek dalam lingkungan dengan intensitas cahaya terkendali.

**Kata kunci:** FSO, Komunikasi optik, LDR, Mikrokontroler, Transmisi data

## I. PENDAHULUAN

Komunikasi berbasis jaringan kabel (*wired*) telah lama menjadi pilihan utama dalam menghubungkan berbagai perangkat, terutama di lingkungan urban dan antarbangunan. Sistem ini menawarkan kecepatan dan stabilitas tinggi, namun menghadapi tantangan besar dalam hal biaya pemasangan, pemeliharaan, dan keterbatasan ruang, khususnya di wilayah padat penduduk. Kompleksitas infrastruktur dan penataan utilitas di kota-kota besar menyulitkan penambahan jaringan kabel baru tanpa mengganggu fasilitas yang telah ada. Selain itu, jaringan kabel sangat rentan terhadap gangguan fisik akibat konstruksi, cuaca ekstrem, atau vandalisme, yang dapat menyebabkan terputusnya layanan komunikasi, seperti yang pernah terjadi di Gunungkidul akibat kabel optik yang rusak tertimpa pohon tumbang.

Seiring dengan keterbatasan tersebut, berbagai alternatif nirkabel mulai dikembangkan. Salah satu solusi yang menjanjikan adalah teknologi *Free Space Optic* (FSO), yaitu

sistem komunikasi optik yang menggunakan cahaya laser untuk mentransmisikan data tanpa kabel melalui udara. Teknologi ini unggul karena bebas dari interferensi elektromagnetik, memiliki kecepatan transmisi tinggi, dan tidak memerlukan infrastruktur fisik yang kompleks. Berbagai sistem lain seperti *microwave backhaul* dan *satellite backhaul* juga digunakan, namun masing-masing memiliki keterbatasan seperti biaya tinggi, latensi besar, dan ketergantungan pada kondisi geografis.

Permasalahan utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah kebutuhan akan solusi komunikasi alternatif yang efisien, andal, dan hemat biaya, khususnya sebagai cadangan atau pengganti jaringan kabel yang rentan terhadap kerusakan. Oleh karena itu, diperlukan sistem komunikasi nirkabel jarak pendek yang dapat diterapkan di lingkungan terbatas seperti kampus atau antarbangunan, dengan performa yang tetap stabil dalam berbagai kondisi.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem komunikasi optik nirkabel berbasis FSO dengan menggunakan laser *continuous wave* dan sensor LDR yang dikendalikan oleh mikrokontroler. Sistem dikembangkan dalam bentuk prototipe skala kecil untuk mensimulasikan komunikasi *point-to-point* antar modul *transmitter* dan *receiver*, serta mengevaluasi performanya berdasarkan jarak dan pengaruh lingkungan seperti cahaya dan cuaca. Hasil dari penelitian ini diharapkan menjadi dasar pengembangan lebih lanjut menuju solusi komunikasi optik yang dapat diterapkan secara nyata pada skala antarbangunan.

## II. KAJIAN TEORI

Untuk mendukung pemahaman dan pengembangan sistem komunikasi berbasis *Free Space Optic* (FSO) dalam tugas akhir ini, dibutuhkan landasan teoritis yang kuat mengenai teknologi, metode, dan komponen yang digunakan. Kajian ini mencakup teori dasar FSO, karakteristik teknis, metode transmisi, serta penelitian-penelitian sebelumnya yang relevan.

### A. Prinsip Dasar Komunikasi FSO

Komunikasi FSO bekerja dengan mentransmisikan sinyal cahaya melalui udara terbuka dari pemancar ke penerima secara langsung (*line of sight*). Cahaya yang digunakan biasanya berasal dari laser diode dan dimodulasi untuk membawa data digital. Teknologi ini memungkinkan transmisi data berkecepatan tinggi dengan latensi rendah, tanpa memerlukan kabel fisik.

### B. Komponen Sistem FSO

Sistem FSO terdiri dari dua komponen utama, yaitu *transmitter* dan *receiver*. *Transmitter* menggunakan laser *diode* untuk menghasilkan sinyal optik, sementara *receiver* menggunakan sensor seperti *Light Dependent Resistor* (LDR) untuk mendeteksi intensitas cahaya dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Mikrokontroler seperti Arduino dan ESP32 digunakan untuk memproses sinyal, mengatur komunikasi serial, dan menganalisis performa sistem.

### C. Metode Modulasi

Salah satu metode modulasi yang umum digunakan dalam sistem FSO adalah *On-Off Keying* (OOK), yaitu bentuk modulasi biner di mana cahaya menyala mewakili logika '1', dan cahaya padam mewakili '0'. Metode ini sederhana dan cocok untuk sistem berbasis mikrokontroler. Alternatif lain seperti *Pulse Position Modulation* (PPM) dan *Differential Phase Shift Keying* (DPSK) menawarkan performa lebih baik dalam kondisi lingkungan yang berisik, meskipun implementasinya lebih kompleks.

### D. Karakteristik Propagasi Sinyal

Sinyal optik FSO sangat bergantung pada kondisi atmosfer. Fenomena seperti redaman (*attenuation*), dispersi, turbulensi, dan divergensi sinar dapat mengganggu kestabilan transmisi. Tidak seperti gelombang radio, sinyal cahaya tidak dapat menembus rintangan fisik, sehingga *line of sight* mutlak diperlukan.

### E. Keunggulan dan Keterbatasan FSO

Keunggulan FSO antara lain adalah *bandwidth* tinggi, tidak memerlukan lisensi frekuensi, tidak terpengaruh interferensi elektromagnetik, instalasi cepat, dan tingkat keamanan tinggi. Namun, keterbatasannya meliputi ketergantungan pada LOS, sensitivitas terhadap cuaca, dan kesulitan menjaga kestabilan posisi antar perangkat.

### F. Teknik Peningkatan Kinerja

Untuk meningkatkan keandalan sistem FSO, beberapa teknik yang bisa digunakan antara lain: penggunaan lensa fokus, filter optik, *auto-alignment system*, redundansi kanal, dan sistem pelindung cuaca. Protokol pengulangan data (*acknowledgment*) juga penting untuk memastikan integritas data.

### G. Standar dan Aplikasi

Walaupun belum memiliki standar universal, FSO telah digunakan dalam berbagai aplikasi seperti komunikasi antar gedung, sistem darurat, dan komunikasi taktis militer. Standar referensi seperti ITU-T G.652 dan IEEE 802.15.7 sering dijadikan acuan, meski bukan khusus untuk FSO.

### H. Penelitian Terkait

Beberapa studi terdahulu telah mengeksplorasi penggunaan FSO berbasis laser *diode* dan sensor LDR dengan mikrokontroler Arduino atau ESP32. Penelitian ini umumnya fokus pada perancangan sistem prototipe sederhana, pengujian dalam kondisi nyata, dan penerapan pada skenario darurat atau lingkungan yang sulit dijangkau oleh kabel.

### I. Spesifikasi Sistem

Dalam merancang sistem *wireless backhaul* menggunakan FSO untuk komunikasi antar gedung, terdapat spesifikasi yang dirancang untuk memberikan pedoman yang jelas dan terukur guna memastikan bahwa implementasi FSO dilakukan secara optimal dan sesuai kebutuhan. Spesifikasi sistem dapat dilihat pada Tabel 1. di bawah ini.

Tabel 1. Spesifikasi Sistem Komunikasi FSO

No	Spesifikasi	Rincian
1.	Panjang Gelombang dengan nilai sebesar 650 nm	Penggunaan panjang gelombang dengan nilai sebesar 650 nm. Penggunaan panjang gelombang sangat bergantung pada kebutuhan penggunaan.
2.	Daya Pancar pada <i>Transmitter</i> sebesar 20 dBm	Penggunaan nilai daya pancar pada transmitter bergantung pada kondisi cuaca. Pada kondisi cuaca cerah menggunakan nilai -14.20 dBm sedangkan pada kondisi cuaca hujan menggunakan nilai 18.76 dBm.
3.	Laser	CW laser merupakan jenis laser yang menghasilkan cahaya secara terus menerus dan stabil. penggunaan daya pada CW Laser menjadi salah satu faktor yang dapat mempengaruhi performa sistem FSO.
4.	Daya Terima <i>Receiver</i> sebesar -18.729 dBm hingga 24.796 dBm	Daya yang dapat diterima oleh receiver sangat bergantung pada berbagai faktor seperti jarak transmisi, kondisi cuaca, dan jenis modulasi. Namun receiver FSO dapat menerima daya sekitar -18.729 hingga 24.796 dBm.

## METODE

### A. Desain Sistem

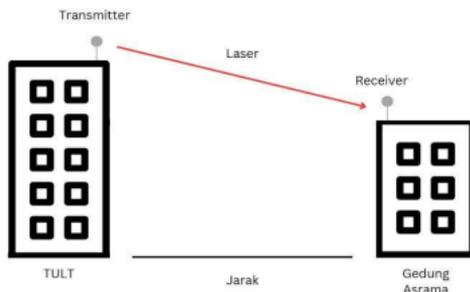
*Traditional Line-of-Sight* FSO bekerja dengan mengkonversi sinyal elektronik menjadi sinyal optik menggunakan pemancar laser yang dipancarkan melalui atmosfer. Sinar laser tersebut difokuskan menggunakan sistem optik presisi menuju penerima yang memiliki kemampuan mendeteksi sinyal cahaya dengan sensitivitas yang tinggi. Proses transmisi data berlangsung dengan mentransformasikan informasi digital melalui modulasi intensitas cahaya, memungkinkan kecepatan transfer data mencapai 1-10 Gbps.

Karakteristik utama *Traditional Line-of-Sight* FSO terletak pada kehandalan transmisi *point-to-point* dengan jarak efektif antara 100-4000 meter, menggunakan panjang gelombang sekitar 650-1550 nm. Teknologi ini memiliki keunggulan dalam hal *bandwidth* yang lebar, keamanan transmisi yang tinggi, serta bebas dari interferensi elektromagnetik. Namun, memiliki tantangan terhadap kondisi cuaca.

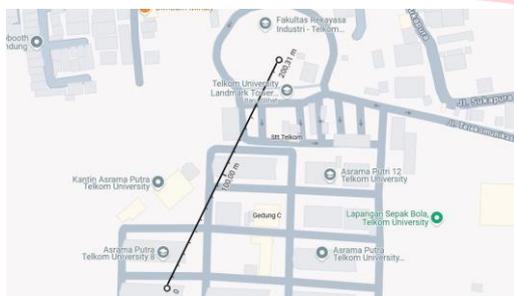
Teknologi ini memiliki desain yang sederhana dan kemudahan dalam pemeliharaan. Arsitektur sistem yang minimalis memungkinkan implementasi yang relatif mudah, dengan komponen utama terdiri dari pemancar dan penerima optik yang ditempatkan pada lintasan antar gedung atau

lokasi tertentu. Kompleksitas teknis yang rendah membuat sistem ini dapat dengan cepat dipasang dan disesuaikan, sehingga mengurangi waktu dan biaya instalasi. Selain itu, infrastruktur FSO tidak membutuhkan kabel ekstensif atau jaringan kompleks, yang secara signifikan menurunkan kebutuhan pemeliharaan rutin dan meminimalisir potensi kerusakan sistem.

Gambar 1. dan Gambar 2. menunjukkan ilustrasi visual posisi antar gedung dan lintasan komunikasi yang digunakan



Gambar 1. Jarak LOS antar Gedung



Gambar 2. Foto Lokasi Fisik Gedung

## B. Blok Sistem



Gambar 3. Solusi Desain Arsitektur

Berdasarkan Gambar 3 diatas, menunjukkan arsitektur dari *Traditional Line-of-Sight* FSO. Berikut adalah penjelasan detail mengenai desain:

### 1. Input

*Input* merupakan sumber data awal yang akan dikirim melalui sistem FSO. Dalam sistem ini, *input* berasal dari aplikasi atau *database* yang ada pada *Supabase* yang terhubung melalui jaringan Wi-Fi menggunakan ESP32. Data berupa teks digital yang dikirim dari *Supabase*.

### 2. Modulator

Modulator berfungsi mengubah data digital menjadi sinyal optik yang dapat dikirim melalui media ruang bebas. Sebelum dimodulasi, data asli seperti karakter teks dikonversi ke dalam kode ASCII, lalu diterjemahkan ke bentuk biner (bit 1 dan 0). Misalnya, karakter "A" memiliki nilai ASCII 65, yang direpresentasikan sebagai 01000001 dalam biner. Modulator kemudian mengendalikan sumber cahaya (seperti laser atau LED) berdasarkan deretan bit ini: cahaya menyala (*ON*) untuk bit 1 dan mati (*OFF*) untuk

bit 0. Dengan pola nyala-mati ini, informasi digital dapat dikirim secara efisien dan nirkabel menggunakan sistem *Free Space Optic* (FSO).

### 3. Transmitter

*Transmitter* merupakan perangkat yang bertanggung jawab untuk mengubah sinyal listrik menjadi sinyal optik yang dapat dipancarkan melalui ruang bebas (*free space*). *Transmitter* akan menghasilkan sinar koheren dan terarah yang akan dipancarkan, untuk jenis *transmitter* yang digunakan yaitu modul laser dioda berwarna merah dengan panjang gelombang 650 nm dengan keluaran sebesar 100 mW yang bekerja pada tahanan 3-5 V yang dapat bekerja pada suhu ideal sekitar -10-55 derajat.

### 4. Berkas Cahaya

Berkas cahaya adalah saluran transmisi yang digunakan untuk mengirimkan sinyal optik dari *transmitter* ke *receiver*. Dalam sistem FSO, berkas cahaya ini merambat melalui ruang bebas tanpa menggunakan kabel serat optik.

### 5. Receiver

*Receiver* merupakan perangkat yang bertugas untuk menangkap dan menerima sinyal optik yang dipancarkan oleh *transmitter*. *Receiver* biasanya menggunakan *Photodetector*, seperti *Photodiode* atau *phototransistor* yang berfungsi untuk mengubah sinyal optik menjadi sinyal listrik kembali.

### 6. Demodulator

Demodulator berfungsi mengubah sinyal listrik dari sensor cahaya menjadi data digital yang dapat diproses perangkat. Ia mengekstrak kembali bit-bit biner (1 dan 0) dari pola cahaya yang diterima, sesuai dengan modulasi yang digunakan. Bit-bit ini kemudian disusun ulang menjadi karakter berdasarkan tabel ASCII. Misalnya, pola 01000001 akan diartikan sebagai karakter "A" (ASCII 65). Dengan demikian, demodulator memungkinkan pemulihan data asli yang dikirim melalui sistem FSO secara akurat.

### 7. Output

*Output* merupakan hasil akhir dari sistem FSO, yaitu informasi atau data yang telah diterima, diproses, dan diekstrak kembali dari sinyal optik. Dalam sistem ini, *output* dapat berupa tampilan teks pada *Serial Monitor* Arduino IDE.

## C. Metode Pengukuran

Prosedur pengukuran/verifikasi yang benar melibatkan dua bagian utama, yaitu alat ukur verifikasi dan mekanisme pengukuran

### • Panjang Lintasan

Jarak *horizontal* antar gedung diukur menggunakan *Google Maps* dan tinggi bangunan ditentukan dengan pengukuran langsung. Hasil pengukuran menunjukkan:

Jarak *horizontal* antar gedung = 200 meter  
 Tinggi Gedung TULT lantai 2 = 8 meter  
 Tinggi Asrama Putra = 4 meter

Jarak lintasan LOS dihitung menggunakan persamaan Pythagoras:

$$A = \sqrt{\text{Jarak Antar Gedung}^2 + (\text{Gedung A} - \text{Gedung B})^2}$$

$$= \sqrt{200^2 + (8 - 4)^2}$$

$$= \sqrt{40000 + 16}$$

$$= \sqrt{40016} \approx 200,04 \text{ meter}$$

- Daya Transmisi  
 Daya laser sebesar 100 mW dikonversi ke dBm menggunakan:

$$P(\text{dBm}) = 10 \log_{10}(P(\text{mW}))$$

sehingga 100 mW menghasilkan nilai 20 dB.

- Daya Terima Receiver  
 Perhitungan rugi-rugi propagasi berdasarkan model redaman jalur bebas (*Free Space Path Loss*):

$$LFSO = 10 \log_{10} \left( \frac{A_b}{A_r} \right) + \gamma d - 10 \log_{10} (n_t \cdot n_r) \#(1)$$

Dimana:

- $A_b$  = luas *beam footprint* pada receiver ( $m^2$ )
- $A_r$  = luas aperatur receiver ( $m^2$ )
- $\gamma$  = koefisien atenuasi atmosfer (dB/km)
- $d$  = jarak antara receiver dan transmitter (km)
- $\eta_t$  = efisiensi transmitter
- $\eta_r$  = efisiensi receiver

dan daya terima dihitung dengan:

$$P_r = P_t \cdot n_t \cdot n_r \cdot e^{-\gamma d} \cdot \left( \frac{A_r}{A_b} \right) \#(2)$$

Dan perhitungan daya pancar ( $P_t$ ) dapat dilakukan dengan rumus.

$$P_t = \left( \frac{P_r}{n_t \cdot n_r \cdot e^{-\gamma d} \cdot \left( \frac{A_r}{A_b} \right)} \right) \#(3)$$

Dimana:

- $P_t$  = daya pancar (W)
- $n_t = n_r$  = efisiensi optik dari pemancar dan penerima
- $\gamma$  = koefisien redaman atmosfer
- $d$  = jarak antara pemancar dan penerima
- $A_r$  = luas aperture receiver
- $A_b$  = luas berkas sinyal optik (*beam area*)

- Validasi Sistem dan Evaluasi  
 Sistem diuji pada pagi, siang, dan malam hari, serta pada cuaca cerah dan hujan. Validasi dilakukan dengan mengukur:

- *Bit Error Rate* (BER)
- Tingkat Keberhasilan Data
- Kecepatan Transfer Data (bps)
- Daya Terima (dBm)

Penyesuaian posisi transmitter dan receiver dilakukan secara presisi menggunakan alat bantu optik. Pemantauan kestabilan sinyal serta LOS dilakukan secara berkala untuk memastikan kualitas komunikasi tetap terjaga.

- Panjang Gelombang

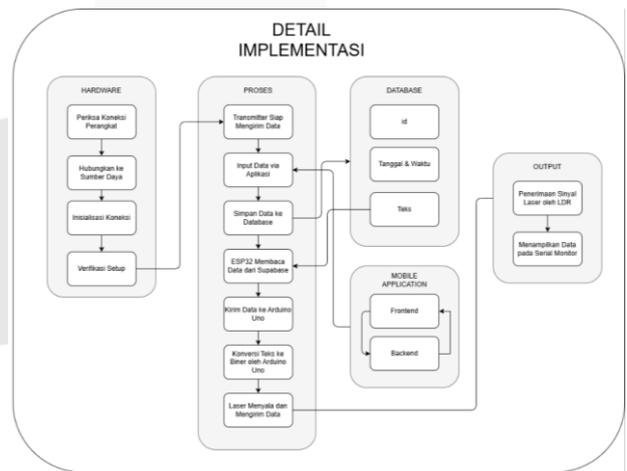
Pengukuran panjang gelombang cahaya dilakukan menggunakan spektrometer yang telah terkalibrasi. Alat ini bekerja dengan memisahkan cahaya menjadi spektrum warnanya menggunakan kisi difraksi atau prisma, kemudian menampilkan panjang gelombang berdasarkan posisi puncak intensitas. Untuk panjang gelombang 650 nm, spektrum akan menunjukkan puncak pada wilayah merah, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4. Panjang Gelombang Menentukan Warna dan Visibilitas Sinar Laser

#### D. Detail Implementasi

Sistem *Wireless Backhaul* menggunakan *Free Space Optic* terdiri dari dua subsistem, yaitu subsistem *Hardware* dan subsistem *Software*. Pada subsistem *Hardware* terbagi lagi menjadi dua bagian, yaitu *Transmitter* dan *Receiver*. Detail implementasi dapat dilihat pada Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Detail implementasi



- Hal ini bertujuan untuk mendapatkan data yang lebih konsisten dan reliabel.

5. **Kondisi Lokasi Pengujian:**

- Pengujian dilakukan di area *outdoor* yang memiliki jalur pandang langsung (*line-of-sight*) antara *transmitter* dan *receiver* untuk meminimalkan gangguan dari objek lain.

6. **Posisi dan Arah Transmisi:**

- Sistem *transmitter* diposisikan secara tetap.
- Sinar laser diarahkan langsung ke sensor LDR yang dipasang pada sistem *receiver*.

7. **Metode Transmisi dan Pencatatan Data:**

- Transmisi data dilakukan secara kontinu selama proses pengujian.
- Parameter hasil pengukuran dicatat secara *real-time* melalui *Serial Monitor* pada Arduino IDE.

B. Hasil dan Analisis Data Pengujian

1. Berdasarkan Waktu

Tabel 2. Hasil Pengujian Pagi Hari

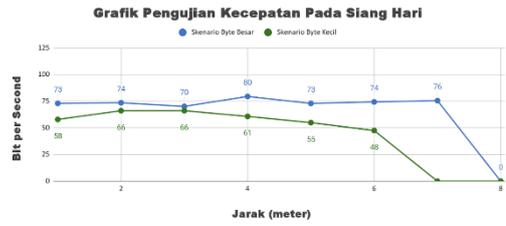
Percobaan Pertama (Pagi Hari)					
No	Jarak (m)	Total Bytes	Total Time (ms)	Total bit (per second)	Keterangan
1	1	7	846	66	Berhasil
2	1	32	3506	73	Berhasil
3	2	5	605	66	Berhasil
4	2	30	3263	74	Berhasil
5	3	6	726	66	Berhasil
6	3	31	3383	73	Berhasil
7	4	7	921	61	Berhasil
8	4	34	3421	80	Berhasil
9	5	6	811	59	Berhasil
10	5	33	3619	73	Berhasil
11	6	6	873	55	Berhasil
12	6	33	3551	74	Berhasil
13	7	7	741	76	Berhasil
14	7	34	3407	80	Berhasil
15	8	9	989	73	Berhasil
16	8	36	3757	77	Berhasil
17	9	10	1097	73	Berhasil
18	9	37	0	0	Gagal
19	10	9	1127	64	Berhasil
20	10	39	0	0	Gagal



Gambar 8. Grafik Scatterplot pada Pengujian Pagi Hari

Tabel 3. Hasil Pengujian Siang Hari

Percobaan Pertama (Siang Hari)					
No	Jarak (m)	Total Bytes	Total Time (ms)	Total bit (per second)	Keterangan
1	1	7	966	58	Berhasil
2	1	32	3506	73	Berhasil
3	2	5	605	66	Berhasil
4	2	30	3263	74	Berhasil
5	3	6	726	66	Berhasil
6	3	31	3533	70	Berhasil
7	4	7	921	61	Berhasil
8	4	34	3421	80	Berhasil
9	5	6	873	55	Berhasil
10	5	33	3619	73	Berhasil
11	6	6	1010	48	Berhasil
12	6	33	3551	74	Berhasil
13	7	7	741	76	Berhasil
14	7	34	0	0	Gagal
15	8	9	0	0	Gagal
16	8	36	0	0	Gagal



Gambar 9. Grafik Scatterplot pada Pengujian Siang Hari

Tabel 4. Hasil Pengujian Malam Hari

Percobaan Pertama (Malam Hari)					
No	Jarak (m)	Total Bytes	Total Time (ms)	Total bit (per second)	Keterangan
1	1	7	803	70	Berhasil
2	1	32	2803	91	Berhasil
3	2	5	605	66	Berhasil
4	2	30	3107	77	Berhasil
5	3	6	533	87	Berhasil
6	3	31	3209	77	Berhasil
7	4	7	573	98	Berhasil
8	4	34	3303	82	Berhasil
9	5	6	533	90	Berhasil
10	5	33	3407	77	Berhasil
11	6	6	527	91	Berhasil
12	6	33	3503	75	Berhasil
13	7	7	513	109	Berhasil
14	7	34	3601	76	Berhasil
15	8	9	525	137	Berhasil
16	8	36	3703	78	Berhasil
17	9	7	503	111	Berhasil
18	9	47	3809	99	Berhasil
19	10	5	513	78	Berhasil
20	10	49	3903	100	Berhasil
21	11	5	509	79	Berhasil
22	11	51	4007	102	Berhasil
23	12	6	511	94	Berhasil
24	12	53	4103	103	Berhasil
25	13	6	507	95	Berhasil
26	13	55	4201	105	Berhasil
27	14	7	0	0	Gagal
28	14	57	0	0	Gagal



Gambar 10. Grafik Scatterplot pada Pengujian Malam Hari

Tabel diatas memperlihatkan tiga parameter utama yang diuji pada waktu pagi, siang, dan malam hari, yakni kecepatan transfer data (bps) dan tingkat keberhasilan transmisi data (%). Pada pagi hari, data menunjukkan kecepatan rata-rata sebesar 60,34 bps dengan keberhasilan 86,75%, mengindikasikan performa cukup stabil. Tabel menunjukkan bahwa meskipun terdapat sinyal cahaya dari matahari, gangguannya belum terlalu besar.

Pada siang hari, berdasarkan tabel, performa menurun cukup tajam. Kecepatan transfer turun menjadi 54,54 bps dan keberhasilan hanya 81,25%. Angka ini menggambarkan bahwa cahaya matahari pada siang hari memberikan pengaruh paling besar terhadap akurasi penerimaan sinyal FSO karena cahaya lingkungan sulit dibedakan dari sinyal laser oleh LDR.

Sementara itu, data pada malam hari dalam tabel menunjukkan performa terbaik. Sistem mencatat kecepatan 83,85 bps dan tingkat keberhasilan 91,55%, menegaskan bahwa lingkungan dengan cahaya rendah sangat ideal untuk operasional sistem ini.

Dari keseluruhan isi tabel, dapat disimpulkan bahwa semakin rendah intensitas cahaya lingkungan, semakin baik performa sistem. Tabel mendukung analisis bahwa malam hari adalah waktu optimal untuk penggunaan sistem FSO berbasis LDR

2. Berdasarkan Cuaca

Tabel 5. Hasil Pengujian Kondisi Cuaca Hujan

Percobaan Pertama (Cuaca Hujan)					
No	Jarak (m)	Total Bytes	Total Time (ms)	Total bit (per second)	Keterangan
1	1	7	830	66	Berhasil
2	1	32	3490	73	Berhasil
3	2	5	610	66	Berhasil
4	2	30	3280	73	Berhasil
5	3	6	728	66	Berhasil
6	3	31	3350	74	Berhasil
7	4	7	870	64	Berhasil
8	4	34	3410	80	Berhasil
9	5	6	860	56	Berhasil
10	5	33	3580	74	Berhasil
11	6	6	0	0	Gagal
12	6	33	0	0	Gagal



Gambar 11. Scatterplot pada Kondisi Cuaca Hujan

Tabel 6. Hasil Pengujian Kondisi Cuaca Panas Terik

Percobaan Pertama (Cuaca Panas Terik)					
No	Jarak (m)	Total Bytes	Total Time (ms)	Total bit (per second)	Keterangan
1	1	7	966	58	Berhasil
2	1	32	3506	73	Berhasil
3	2	5	605	66	Berhasil
4	2	30	3263	74	Berhasil
5	3	6	726	66	Berhasil
6	3	31	3533	70	Berhasil
7	4	7	921	61	Berhasil
8	4	34	3421	80	Berhasil
9	5	6	873	55	Berhasil
10	5	33	3619	73	Berhasil
11	6	6	1010	48	Berhasil
12	6	33	3551	74	Berhasil
13	7	7	741	76	Berhasil
14	7	34	0	0	Gagal
15	8	9	0	0	Gagal
16	8	36	0	0	Gagal



Gambar 12. Grafik Scatterplot pada Kondisi Cuaca Panas Terik

Pengujian juga dilakukan pada dua kondisi cuaca, yaitu cerah dan hujan. Berdasarkan Tabel 5 dan 6, saat cuaca cerah, sistem menunjukkan performa yang cukup baik dengan kecepatan transfer rata-rata sebesar 58,65 bps dan tingkat keberhasilan transmisi sebesar 85,22%. Namun, saat diuji dalam kondisi hujan, performa sistem mengalami penurunan yang signifikan. Kecepatan rata-rata turun menjadi 47,12 bps dan tingkat keberhasilan menjadi 75,38%.

Penurunan ini disebabkan oleh gangguan partikel air di udara yang menyerap dan menyebarkan cahaya laser, mengurangi intensitas sinyal yang diterima

oleh sensor LDR. Selain itu, perubahan suhu dan kelembapan juga berpotensi memengaruhi sensitivitas sensor dan kestabilan sistem.

3. Analisis Hasil Perbandingan

Tabel 7. Hasil Perbandingan Pengujian

Tabel Hasil Perbandingan			
No	Kondisi	Total bit (per second)	Persentase Data Terkirim
1	Percobaan Pertama (Pagi Hari)	63	90%
2	Percobaan Kedua (Siang Hari)	55	81,25%
3	Percobaan Ketiga (Malam Hari)	84	91,55%
4	Percobaan Keempat Kondisi Cuaca Hujan	58	83,33%
5	Percobaan Kelima Kondisi Cuaca Panas Terik	52	81,25%

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem FSO berbasis LDR sangat dipengaruhi oleh kondisi atmosfer. Oleh karena itu, implementasi nyata sistem serupa memerlukan strategi mitigasi, seperti penggunaan laser dengan daya lebih besar, proteksi fisik terhadap hujan, atau penggunaan sensor yang lebih presisi seperti *photodiode*.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, sistem *Free Space Optic* (FSO) yang dikembangkan telah berhasil memenuhi sebagian besar tujuan, khususnya dalam komunikasi *point-to-point* dengan jalur *Line of Sight* (LOS) yang jelas. Pengujian menunjukkan tingkat keberhasilan transmisi data rata-rata di atas 80%, dengan performa tertinggi sebesar 91,55% pada pengujian malam hari. Integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak, termasuk pengiriman data melalui *Supabase*, berjalan baik tanpa kendala. Evaluasi pengguna terhadap perangkat lunak juga menunjukkan hasil positif dengan mayoritas responden menilai sistem dalam kategori “baik” dan “sangat baik”.

Namun, daya pancar *transmitter* yang hanya mencapai 6,99 dBm belum memenuhi target spesifikasi sebesar 20 dBm, yang menyebabkan keterbatasan jarak efektif transmisi, sehingga masih perlu pengembangan lebih lanjut. Meskipun demikian, sistem ini telah menunjukkan potensi untuk dikembangkan lebih lanjut menuju aplikasi nyata komunikasi FSO antar gedung.

REFERENSI

[1] Detik. (2024). “Hujan Angin di Gunungkidul, Rumah Rusak, Jaringan Internet Kominfo Putus” Internet: <https://www.detik.com/jogja/berita/d-7233987/hujan-angin-di-gunungkidul-rumah-rusak-jaringan-internet-kominfo-putus>, [Oct 01, 2024].  
 Scenario. *Wireless Personal Communications*.” Internet: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11277-021-08742-3>, [Oct. 01, 2024].  
 [2] Wikipedia contributors, “Free-space optical communication. In Wikipedia, The Free Encyclopedia.” Internet: [https://en.wikipedia.org/wiki/Free-space\\_optical\\_communication](https://en.wikipedia.org/wiki/Free-space_optical_communication), [Oct. 01, 2024]  
 [3] Hughes Network Systems, “Satellite Cellular Backhaul: Reaching Further with a Lower Cost-per-Bit Solution.” Internet:

<https://www.hughes.com/sites/hughes.com/files/2022-03/Hughes-SatCellBackhaul.pdf>, [Oct. 01, 2024]

[4] 4Gon Solutions. (n.d.). "Introduction to free space optics." Internet:

[https://www.4gon.co.uk/solutions/introduction\\_to\\_free\\_space\\_optics.php](https://www.4gon.co.uk/solutions/introduction_to_free_space_optics.php), [Des 19, 2024]

[5] Cadence. (2020). "What is signal-to-noise ratio and how to calculate it." Internet:

<https://resources.pcb.cadence.com/blog/2020-what-is-signal-to-noise-ratio-and-how-to-calculate-it>, [Des 19, 2024]

[6] PPID Universitas Udayana. (n.d.). "Power link budget: Pengertian dan parameter." Internet:

[https://ppid.unud.ac.id/img/admin/page\\_atc/425cf7aba23b53f0db805571dc5d9502.pdf](https://ppid.unud.ac.id/img/admin/page_atc/425cf7aba23b53f0db805571dc5d9502.pdf), [Des 19, 2024]

[7] Robotics Instiper Jogja. (n.d.). "LiDAR sensor: Photo detector dan receiver dalam LiDAR" Internet:

<https://robotics.instiperjogja.ac.id/post/LiDARsensor>, [Des 19, 2024]

[8] ScienceAlert. (n.d.). "What are lasers and how do they actually work." Internet:

<https://www.sciencealert.com/what-are-lasers-and-how-do-they-actually-work>, [Des 19, 2024]

[9] Telkom University. (n.d.). "Power link budget: Pengertian & parameter." Internet:

<https://dte.telkomuniversity.ac.id/power-link-budget-pengertian-parameter/>, [Des 19, 2024]

