

Evaluasi Kinerja Direct Line Of Sight (Los) Dan Non-Direct Line Of Sight (Nlos) Pada Komunikasi Indoor Light Fidelity Berbasis Arduino Uno

1st Jihad Masyun Hidayat

Fakultas Teknik Telekomunikasi dan
Elektro

Telkom University Purwokerto
Purwokerto, Indonesia

jihadmasyun@student.telkomuniversity
.ac.id

2nd Fauza Khair

Fakultas Teknik Telekomunikasi dan
Elektro

Telkom University Purwokerto
Purwokerto, Indonesia

fauzakhair@telkomuniversity.ac.id

3rd Anggun Fitrian

Fakultas Teknik Telekomunikasi dan
Elektro

Telkom University Purwokerto
Purwokerto, Indonesia

angguni@telkomuniversity.ac.id

Abstrak—Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja komunikasi Li-Fi dalam kondisi LOS dan NLOS dengan menggunakan sistem berbasis Arduino UNO. Pengujian dilakukan dengan menganalisis parameter seperti kecepatan transmisi data serta tingkat kesalahan bit (Bit Error Rate/BER) dalam berbagai kondisi jarak dan hambatan. Metode penelitian mencakup perancangan sistem transmisi data menggunakan LED sebagai pemancar dan solar panel sebagai penerima, serta pengujian kinerja dalam kondisi LOS dan NLOS. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan tentang perbedaan performa Li-Fi dalam kondisi LOS dan NLOS serta mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi efisiensi komunikasi. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengembangkan strategi optimasi guna meningkatkan keandalan Li-Fi dalam lingkungan indoor dan mendukung implementasinya dalam aplikasi Internet of Things (IoT) serta komunikasi nirkabel berkecepatan tinggi. Berdasarkan hasil pengujian, sistem Li-Fi berbasis Arduino berhasil diimplementasikan dan mampu melakukan pengukuran performa transmisi data secara real-time dalam kondisi LOS dan NLOS. Pada jarak pendek (5–25 cm), performa LOS dan NLOS hampir setara dengan *throughput* maksimum dan BER 0%, sedangkan pada jarak jauh (100 cm), NLOS mengalami penurunan *throughput* signifikan dan peningkatan BER hingga 55%, sementara LOS tetap stabil. Hasil ini menunjukkan bahwa kondisi NLOS hanya efektif untuk komunikasi jarak dekat, sedangkan LOS lebih andal untuk jarak menengah hingga jauh.

Kata kunci— Li-Fi, LOS, NLOS, Arduino UNO

I. PENDAHULUAN

Light Fidelity (Li-Fi) merupakan teknologi komunikasi nirkabel berbasis cahaya tampak yang menawarkan alternatif terhadap komunikasi berbasis gelombang radio seperti

Wireless Fidelity (Wi-Fi). Dengan keunggulan berupa spektrum yang lebih luas, kecepatan transmisi yang lebih tinggi, serta keamanan yang lebih baik, *Li-Fi* semakin menarik perhatian dalam penelitian komunikasi nirkabel, khususnya untuk aplikasi di dalam ruangan (*indoor*). Teknologi ini bekerja dengan menggunakan sumber cahaya seperti dioda pemancar cahaya (*Light Emitting Diode/LED*) sebagai pemancar data dan fotodioda sebagai penerima. Meskipun memiliki banyak keunggulan, kinerja *Li-Fi* sangat bergantung pada kondisi propagasi cahaya, terutama dalam skenario *Line of Sight (LOS)* dan *Non-Line of Sight (NLOS)* [1].

Dalam kondisi *LOS*, sinyal cahaya dapat ditransmisikan secara langsung dari sumber ke penerima tanpa hambatan, sehingga menghasilkan transmisi dengan latensi rendah dan efisiensi tinggi. Sebaliknya, pada kondisi *NLOS*, sinyal harus dipantulkan oleh permukaan seperti dinding atau langit-langit sebelum mencapai penerima. Hal ini dapat menyebabkan penurunan intensitas sinyal serta penurunan kecepatan transmisi data akibat atenuasi (*attenuation*), dispersi sinyal (*signal dispersion*), dan interferensi cahaya dari sumber lain [2]. Oleh karena itu, analisis terhadap kinerja komunikasi dalam kondisi *LOS* dan *NLOS* menjadi penting untuk memahami batasan serta optimalisasi *Li-Fi* dalam lingkungan dalam ruangan.

Selain jarak dan hambatan, efek propagasi multipath dalam skenario *NLOS* juga menjadi tantangan utama. Fenomena ini terjadi ketika sinyal cahaya yang dipantulkan mencapai penerima melalui jalur yang berbeda dengan waktu kedatangan yang bervariasi, menyebabkan gangguan antar simbol atau *intersymbol interference (ISI)*. Hal ini meningkatkan tingkat kesalahan bit dan menurunkan efisiensi transmisi [2]. Untuk mengatasi tantangan ini, beberapa pendekatan telah diusulkan, termasuk penggunaan algoritma penyesuaian sinyal (*equalization*) dan pengendalian arah cahaya adaptif (*adaptive beam steering*) guna meningkatkan penerimaan sinyal dalam kondisi *NLOS*.

Penelitian sebelumnya juga menggunakan skenario pengujian berbasis *Arduino* untuk mengevaluasi kinerja komunikasi *Li-Fi* antara dua perangkat. Penggunaan *Arduino*

sebagai pengontrol utama dalam sistem komunikasi *Li-Fi* telah diterapkan dalam berbagai studi yang menunjukkan bahwa komunikasi berbasis *Arduino* dengan *Li-Fi* dapat mencapai tingkat keberhasilan tinggi dalam mentransmisikan data numerik dan gambar dengan latensi rendah [3].

Dalam sistem ini, data dari *Arduino* dikirim melalui cahaya tampak menggunakan *LED* dan diterima menggunakan fotodioda atau resistor peka cahaya (*Light Dependent Resistor/LDR*). Pada sisi pemancar, *Arduino* mengontrol nyala *LED* yang berfungsi sebagai sumber cahaya untuk transmisi data. Sementara itu, pada sisi penerima, *LDR* atau fotodioda menangkap sinyal cahaya dan mengonversinya kembali menjadi data digital. Pendekatan ini memungkinkan pengujian yang lebih fleksibel dalam berbagai kondisi *LOS* dan *NLOS*, serta dapat digunakan untuk menganalisis faktor-faktor seperti intensitas cahaya, jarak, dan hambatan dalam komunikasi *Li-Fi* [3].

Berdasarkan informasi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa komunikasi *Li-Fi* dalam kondisi *LOS* dan *NLOS* menggunakan skenario pengujian berbasis *Arduino*. Analisis dilakukan terhadap berbagai parameter, seperti jarak, hambatan, dan refleksi cahaya, guna memahami batasan serta potensi optimalisasi komunikasi *Li-Fi* dalam lingkungan dalam ruangan.

II. KAJIAN TEORI

A. Penelitian Terkait

Studi pada tahun 2021 mengusulkan pengembangan prototipe alat transmisi data berbasis gelombang cahaya menggunakan *Arduino* sebagai pusat kendali. Teknologi *Li-Fi* dimanfaatkan dalam sistem ini untuk menyediakan komunikasi data nirkabel dengan modulasi cahaya tampak (*visible light communication/VLC*). Implementasi sistem mencakup penggunaan *LED RGB* sebagai pemancar dan fotodioda sebagai penerima, dengan dukungan pemrosesan sinyal melalui *Arduino Uno*. Evaluasi menunjukkan bahwa sistem mampu mentransmisikan data dengan tingkat kesalahan bit (*bit error rate*) antara 25% hingga 75%, bergantung pada kondisi lingkungan dan interferensi cahaya eksternal. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa sistem memiliki waktu transmisi kurang dari 1 detik, dengan jangkauan optimal sekitar 60 cm dalam kondisi ideal. Studi ini membuktikan bahwa teknologi *Li-Fi* berbasis *Arduino* dapat menjadi alternatif komunikasi data yang potensial dan efisien dalam aplikasi nirkabel berbasis cahaya tampak [4].

Studi pada tahun 2022 mengusulkan pengembangan purwarupa alat komunikasi dan monitoring berbasis *Li-Fi* untuk digunakan di rumah sakit guna mengurangi gangguan gelombang elektromagnetik pada alat medis. Teknologi *light fidelity* digunakan sebagai media transmisi data yang aman dan tidak menimbulkan interferensi terhadap perangkat medis yang sensitif terhadap *electromagnetic interference (EMI)*. Implementasi sistem mencakup penggunaan sensor *MAX30100* untuk oximetry, sensor suhu *MLX90614*, serta fitur komunikasi teks dua arah antara pasien dan tenaga medis. Evaluasi menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan data pemantauan pasien secara *real-time* dengan tingkat akurasi tinggi serta latensi yang rendah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan data dengan akurasi tinggi hingga jarak 2 meter tanpa kesalahan, sementara pada komunikasi teks, error mulai

terjadi pada jarak 6,2 meter, meskipun teks masih dapat dipahami. Selain itu, pengujian menunjukkan bahwa transmisi data tetap berjalan optimal meskipun terdapat penghalang kaca di antara pemancar dan penerima. Studi ini membuktikan bahwa penerapan *Li-Fi* dalam sistem komunikasi dan monitoring rumah sakit dapat menjadi solusi inovatif untuk meningkatkan keamanan dan efisiensi komunikasi tanpa gangguan gelombang elektromagnetik [5].

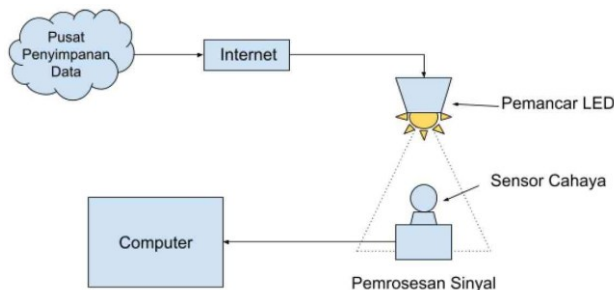
Studi pada tahun 2024 mengusulkan sistem otomasi rumah berbasis *Li-Fi* menggunakan *Arduino* sebagai pusat kendali untuk mengendalikan perangkat rumah tangga secara nirkabel. Teknologi *light fidelity* dimanfaatkan untuk mentransmisikan sinyal menggunakan cahaya tampak dari *LED* putih, memungkinkan komunikasi yang cepat dan efisien tanpa menggunakan gelombang radio. Implementasi sistem mencakup *Arduino*-berbasis pemancar dan penerima, di mana pemancar mengontrol nyala *LED* untuk mengirimkan sinyal biner yang diterima oleh penerima *Arduino* dan digunakan untuk mengaktifkan atau menonaktifkan perangkat rumah tangga. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi dengan jarak komunikasi maksimum 41 cm dalam kondisi *line of sight (LOS)*, dengan respon cepat dalam mengendalikan perangkat seperti lampu, kipas angin, dan kulkas. Pengujian lebih lanjut mengonfirmasi bahwa sistem memiliki akurasi tinggi dalam mengenali sinyal dan menjaga stabilitas komunikasi, namun komunikasi dapat terganggu jika ada perubahan posisi antara pemancar dan penerima. Studi ini membuktikan bahwa penerapan *Li-Fi* dalam sistem otomasi rumah berbasis *Arduino* dapat menjadi solusi inovatif dan hemat energi untuk pengendalian perangkat elektronik di lingkungan rumah tangga [6].

Studi pada tahun 2022 mengusulkan sistem komunikasi data antara dua komputer menggunakan teknologi *Li-Fi* sebagai alternatif *Wi-Fi* yang lebih aman dan efisien. Teknologi *light fidelity* dimanfaatkan sebagai media transmisi dengan memanfaatkan *LED* sebagai pemancar dan *phototransistor* sebagai penerima, memungkinkan komunikasi dua arah tanpa menggunakan gelombang radio. Implementasi sistem mencakup penggunaan *Arduino Uno* sebagai pengendali utama yang mengonversi data *ASCII* menjadi sinyal biner yang dikirimkan melalui kedipan *LED* dan diterima oleh *phototransistor*. Evaluasi menunjukkan bahwa sistem berhasil mentransmisikan data dengan kecepatan hingga 6 Mbps menggunakan array *LED* dan 4 Mbps dengan *LED* tunggal. Pengujian lebih lanjut mengonfirmasi bahwa sistem mampu beroperasi optimal hingga jarak 15 cm tanpa kesalahan transmisi, sementara pada jarak 2 meter, terjadi penurunan stabilitas sinyal. Studi ini membuktikan bahwa penerapan *Li-Fi* dalam komunikasi data berbasis *Arduino* dapat menjadi solusi yang cepat dan hemat energi, dengan potensi pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan jangkauan dan kecepatan transmisi [7].

B. Light Fidelity (Li-Fi)

Li-Fi (Light Fidelity) adalah teknologi komunikasi nirkabel yang menggunakan cahaya tampak (*Visible Light Communication, VLC*) untuk mentransmisikan data. Teknologi ini pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Harald Haas dalam presentasi TED Global pada tahun 2011 sebagai alternatif komunikasi nirkabel berbasis cahaya yang lebih cepat dan efisien dibandingkan *Wi-Fi* yang menggunakan

gelombang radio [8]. Prinsip kerja Li-Fi didasarkan pada modulasi cahaya LED dengan kecepatan tinggi yang tidak dapat dideteksi oleh mata manusia, di mana data dikodekan dalam pola nyala-mati cahaya yang diterima oleh sensor fotodetektor dan diubah kembali menjadi sinyal digital. Dengan menggunakan spektrum cahaya tampak, Li-Fi memiliki keunggulan dalam hal kecepatan transmisi yang lebih tinggi, keamanan lebih baik karena sinyal tidak dapat menembus dinding, serta tidak menimbulkan interferensi elektromagnetik sehingga cocok untuk digunakan di lingkungan sensitif seperti rumah sakit dan pesawat terbang [9]. Contoh penggunaan Li-Fi dapat di ilustrasikan pada Gambar 1.



GAMBAR 1

ARSITEKTUR LI-FI UNTUK KONEKSI INTERNET [9]

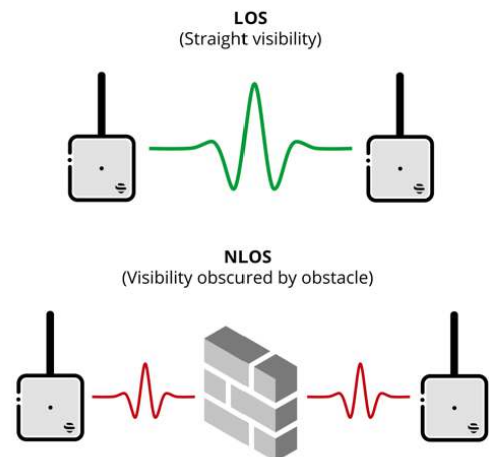
Diagram alir sistem komunikasi Li-Fi yang memanfaatkan cahaya untuk mentransmisikan data dari pusat penyimpanan ke komputer pengguna. Data awal berasal dari Pusat Penyimpanan Data yang terhubung ke Internet. Data ini kemudian dikirim ke pemancar LED, yang berfungsi sebagai sumber cahaya yang telah dimodulasi dengan sinyal data digital.

C. LOS dan NLOS

Dalam sistem komunikasi nirkabel, *Line of Sight (LOS)* mengacu pada kondisi di mana sinyal dapat bergerak langsung dari pemancar ke penerima tanpa hambatan fisik. Situasi ini dianggap ideal karena hambatan propagasi minimal, sehingga transmisi data lebih optimal dengan tingkat gangguan yang rendah. Dalam komunikasi optik seperti *Li-Fi*, kondisi *LOS* sangat diperlukan agar cahaya dapat mencapai penerima secara langsung, sementara dalam komunikasi radio seperti *Wi-Fi* atau *WiMAX*, kondisi *LOS* memungkinkan sinyal menjangkau penerima dengan sedikit distorsi dan pelemahan (*attenuation*). Sebaliknya, *Non-Line of Sight (NLOS)* terjadi ketika ada objek seperti dinding, bangunan, atau pohon yang menghalangi jalur langsung antara pemancar dan penerima. Dalam kondisi *NLOS*, sinyal dapat mencapai penerima melalui refleksi (*reflection*), difraksi (*diffraction*), atau hamburan (*scattering*), tetapi dengan kekuatan dan kualitas yang lebih rendah dibandingkan dengan *LOS* [10].

Perbedaan antara *LOS* dan *NLOS* sangat mempengaruhi kinerja jaringan komunikasi nirkabel. Dalam kondisi *LOS*, sinyal radio dapat merambat secara langsung, menghasilkan kecepatan tinggi dan latensi rendah. Namun, dalam kondisi *NLOS*, sinyal dapat mengalami multipath, yaitu fenomena di mana sinyal dipantulkan oleh berbagai objek sebelum mencapai penerima, yang dapat menyebabkan interferensi dan penurunan kualitas komunikasi [11]. Untuk mengatasi tantangan dalam kondisi *NLOS*, teknologi seperti *Multiple*

Input Multiple Output (MIMO), *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)*, dan penggunaan antenna pintar (*smart antennas*) sering diterapkan untuk meningkatkan stabilitas sinyal dalam lingkungan dengan hambatan fisik. Ilustrasi *LOS* dan *NLOS* dapat dilihat pada Gambar 2



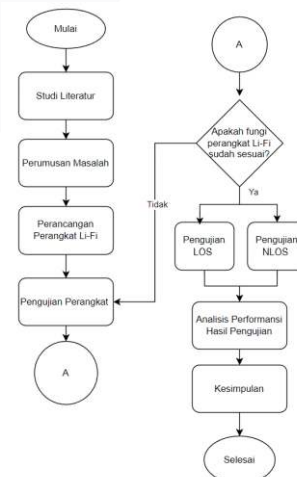
GAMBAR 2

ILUSTRASI LOS DAN NLOS

Kondisi *LOS* ditunjukkan dengan sinyal yang dapat berjalan langsung antara dua perangkat tanpa hambatan, menghasilkan koneksi yang lebih stabil dan kuat. Sebaliknya, pada bagian bawah, kondisi *NLOS* terjadi ketika sinyal terhalang oleh objek seperti dinding, menyebabkan sinyal mengalami pelemahan dan distorsi akibat refleksi atau hamburan sebelum mencapai penerima. Dalam sistem komunikasi seperti *Wi-Fi* dan *Li-Fi*, *LOS* memberikan performa optimal, sementara *NLOS* dapat mengurangi kecepatan dan kualitas transmisi, sehingga memerlukan teknik seperti refleksi atau penggunaan antenna tambahan untuk mengatasi gangguan sinyal [12].

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap yang dapat dilihat pada Gambar 3.

GAMBAR 3
ALUR PENELITIAN

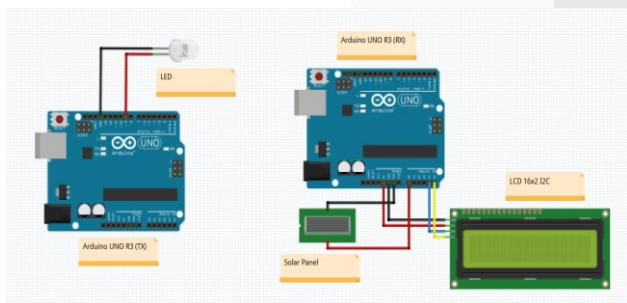
Berdasarkan Gambar 3, penelitian dimulai dengan tahap studi literatur, di mana peneliti mengumpulkan informasi dan teori yang relevan tentang teknologi *Li-Fi* untuk memahami dasar konsep serta penelitian sebelumnya yang terkait. Setelah itu, dilakukan perumusan masalah yang bertujuan untuk menentukan permasalahan utama yang ingin diselesaikan dalam penelitian ini, termasuk batasan serta tujuan yang ingin dicapai. Setelah perumusan masalah selesai, penelitian berlanjut ke tahap perancangan perangkat *Li-Fi*, yang mencakup pemilihan komponen, desain sistem, serta strategi implementasi agar perangkat dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan.

Setelah perangkat dirancang, dilakukan pengujian awal perangkat untuk mengevaluasi apakah fungsinya sudah sesuai dengan spesifikasi. Jika perangkat belum memenuhi kriteria yang diharapkan, maka dilakukan perbaikan dan pengujian ulang sebelum masuk ke tahap evaluasi lebih lanjut. Jika perangkat sudah sesuai, maka pengujian dibagi menjadi dua skenario utama, yaitu pengujian *LOS (Line of Sight)* dan pengujian *NLOS (Non-Line of Sight)*. Pengujian *LOS* dilakukan untuk menilai performa transmisi data dalam kondisi tanpa hambatan langsung, sementara pengujian *NLOS* mengukur bagaimana perangkat berfungsi ketika jalur komunikasi terhalang oleh objek tertentu.

Hasil dari kedua pengujian tersebut kemudian dianalisis dalam tahap evaluasi performa perangkat, di mana data yang diperoleh dari pengujian *LOS* dan *NLOS* dibandingkan untuk menilai efektivitas sistem yang telah dirancang. Setelah analisis dilakukan, penelitian diakhiri dengan tahap kesimpulan, di mana peneliti merangkum hasil pengujian serta memberikan rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut. Jika perangkat tidak memenuhi ekspektasi, perbaikan kembali dilakukan hingga hasil yang optimal tercapai. Dengan pendekatan ini, penelitian memastikan bahwa sistem *Li-Fi* yang dikembangkan dapat bekerja dengan baik dalam berbagai kondisi penggunaan.

A. Perancangan Sistem

Rancangan sistem pada penelitian ini mencakup 2 komponen yaitu Transmitter dan Receiver *Li-Fi* yang dapat dilihat pada Gambar 4.



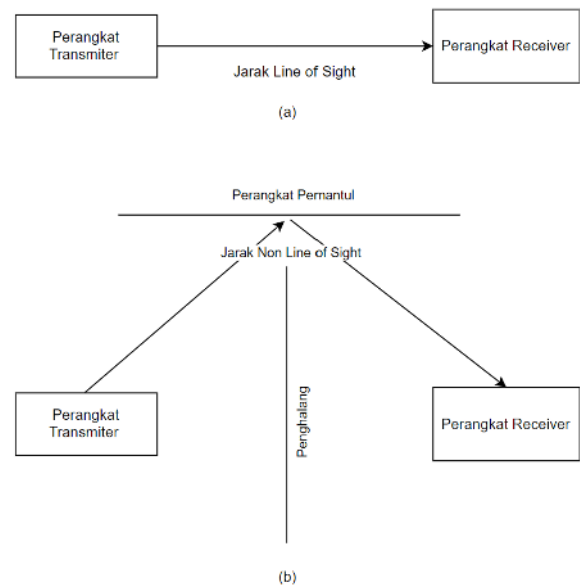
GAMBAR 4
ARSITEKTUR SISTEM

Gambar 4 menunjukkan rangkaian komunikasi berbasis cahaya menggunakan dua buah mikrokontroler Arduino UNO R3, yang masing-masing berperan sebagai pemancar (TX) dan penerima (RX). Pada sisi pemancar (kiri), LED dihubungkan ke Arduino TX dan berfungsi sebagai media transmisi data melalui kedipan cahaya yang dikendalikan program. Di sisi penerima (kanan), terdapat modul Solar

panel yang kemungkinan ditempatkan pada jalur input analog Arduino RX untuk mendeteksi intensitas cahaya dari LED. Selain itu, terdapat panel surya yang terhubung ke input analog Arduino RX untuk memantau daya yang dihasilkan. Data hasil pembacaan ditampilkan melalui modul LCD 16x2 I2C yang terhubung ke Arduino RX, yang memungkinkan tampilan data secara real-time dalam format yang lebih ringkas dan hemat pin.

B. Pengujian Sistem

Dalam sistem komunikasi berbasis cahaya seperti *Li-Fi*, terdapat dua jenis jalur transmisi utama yang menentukan efektivitas dan kualitas penerimaan sinyal, yaitu *Line of Sight (LOS)* dan *Non-Line of Sight (NLOS)*. Keduanya memiliki karakteristik yang berbeda dalam hal jalur propagasi cahaya, serta tantangan dan keunggulan masing-masing tergantung pada kondisi lingkungan dan kebutuhan sistem. Pemahaman terhadap kedua jenis jalur ini penting dalam merancang sistem komunikasi optik yang handal dan efisien, terutama dalam lingkungan indoor yang kompleks. Ilustrasi Skenario yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.



GAMBAR 5
SKENARIO PENGUJIAN SISTEM

Gambar 5 menunjukkan dua skema komunikasi cahaya antara perangkat Transmitter dan receiver dalam konteks teknologi *Li-Fi*, yaitu komunikasi *Line of Sight (LOS)* dan *Non-Line of Sight (NLOS)*. Pada bagian (a), komunikasi dilakukan secara langsung antara Transmitter dan receiver tanpa adanya hambatan di jalur sinyal. Jalur ini disebut sebagai *LOS* di mana sinyal cahaya (seperti dari LED) dapat diterima secara optimal oleh perangkat penerima karena tidak mengalami gangguan fisik yang menghambat lintasan cahaya. Kondisi ini ideal karena memungkinkan data diterima dengan akurasi dan kecepatan tinggi.

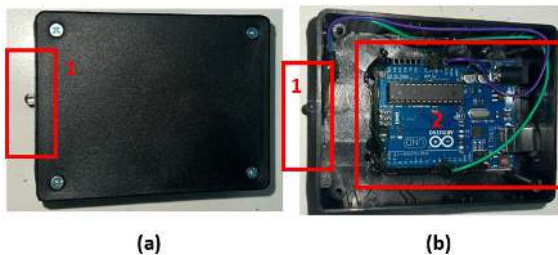
Sementara itu, bagian (b) pada gambar menjelaskan konsep *Non-Line of Sight (NLOS)*, di mana terdapat hambatan (penghalang) antara perangkat Transmitter dan receiver. Untuk tetap memungkinkan transmisi data, sinyal cahaya dipantulkan oleh suatu permukaan atau perangkat pemantul sehingga dapat mencapai perangkat penerima. Jalur

pantulan ini disebut jalur NLOS. Meskipun memungkinkan komunikasi tetap berlangsung, sistem NLOS biasanya mengalami penurunan kualitas sinyal karena adanya penyebaran, pelemahan (attenuation), atau perubahan arah sinyal selama proses refleksi. Variasi Jarak yang digunakan pada penelitian ini meliputi 10 cm, 25 cm, 50 cm, 75 cm, dan 100 cm. Pengujian yang dilakukan mencakup pengujian *Bit Error Rate* (BER) dan *Throughput* pengiriman data yang dilakukan dari *Transmitter* ke *Receiver*.

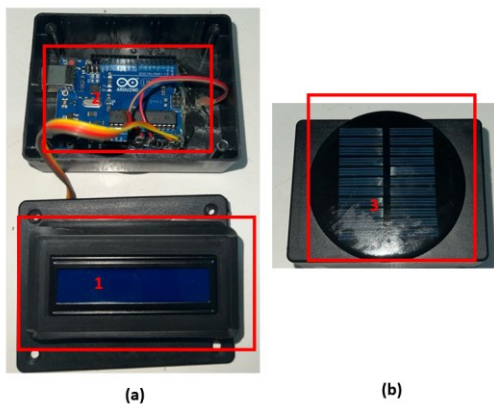
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan Sistem

Berdasarkan perancangan perangkat keras yang sudah dibuat, hasil perancangan perangkat keras Transmitter dapat dilihat pada Gambar 6, dan Receiver pada Gambar 7.



GAMBAR 6
HASIL PERANCANGAN TRANSMITTER LI-FI



GAMBAR 7
HASIL PERANCANGAN RECEIVER LI-FI

Gambar 6 menunjukkan hasil perancangan perangkat transmitter untuk sistem komunikasi Li-Fi berbasis cahaya. Pada gambar (a), ditampilkan tampilan luar dari perangkat transmitter yang telah dirakit dalam sebuah casing tertutup. Bagian yang ditandai dengan nomor 1 adalah LED yang berfungsi sebagai pemancar cahaya untuk mengirimkan data secara optik. LED ini dipasang pada sisi casing sehingga cahaya dapat dipancarkan ke luar secara langsung tanpa terhalang oleh penutup.

Sementara itu, gambar (b) memperlihatkan tampilan bagian dalam dari perangkat transmitter setelah casing dibuka. Bagian yang ditandai dengan nomor 1 masih menunjukkan posisi LED dari sudut pandang dalam, yang terhubung ke papan rangkaian. Komponen yang ditandai dengan nomor 2 adalah modul mikrokontroler Arduino Uno, yang berfungsi sebagai pengendali utama dalam sistem ini.

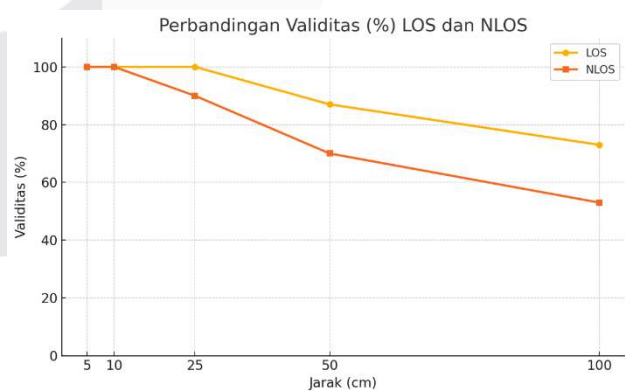
Arduino akan mengonversi data digital menjadi sinyal bit, kemudian mengatur nyala dan mati LED berdasarkan pola bit tersebut untuk mengirimkan informasi ke sisi penerima. Untuk hasil perancangan perangkat Receiver Li-Fi dapat dilihat pada Gambar 7.

Gambar 7 memperlihatkan rancangan fisik dari perangkat penerima (receiver) pada sistem komunikasi Li-Fi. Pada bagian (a), komponen yang diberi label nomor 1 merupakan LCD I2C 16x2 yang berfungsi sebagai media untuk menampilkan hasil pengolahan data, seperti nilai *throughput*, *bit error rate* (BER), dan intensitas sinyal yang diterima. LCD ini dipasang pada bagian luar casing untuk memudahkan proses pemantauan secara langsung oleh pengguna selama pengujian berlangsung. Komponen dengan label nomor 2 adalah mikrokontroler Arduino Uno yang berperan sebagai unit pengolah utama dalam sistem. Arduino Uno menerima sinyal dari sensor berupa panel surya, mengonversi sinyal tersebut menjadi data digital, serta melakukan proses validasi karakter terhadap data yang dikirimkan oleh pemancar. Selain itu, Arduino juga bertanggung jawab dalam penghitungan jumlah bit valid dan pengendalian tampilan informasi ke layar LCD secara real-time.

Gambar (b) menampilkan tampilan luar perangkat receiver yang dilengkapi dengan panel surya, ditandai dengan label nomor 3. Panel surya berfungsi sebagai sensor utama untuk menangkap sinyal optik yang dikirim melalui LED pemancar. Intensitas cahaya yang diterima akan dikonversi menjadi tegangan analog, yang selanjutnya dibaca melalui pin analog Arduino. Tegangan ini kemudian digunakan untuk menentukan validitas data dan mengukur kekuatan sinyal optik yang diterima.

B. Hasil Pengujian Perangkat

Pengujian hasil perancangan perangkat dilakukan dengan mengirimkan pesan dari transmitter berupa kalimat "Test Li-Fi" kemudian jika pesan diterima dengan benar, maka pesan tersebut ditampilkan pada LCD perangkat Receiver. Hasil Grafik Pengujian Perangkat dapat dilihat pada Gambar 8.



GAMBAR 8
HASIL PENGUJIAN VALIDITAS PERANGKAT LI-FI

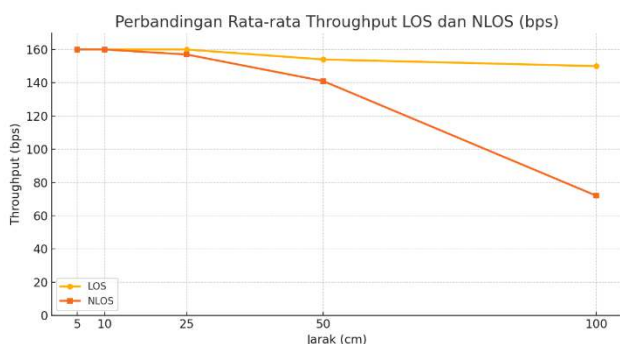
Berdasarkan Gambar 8, ditampilkan grafik perbandingan tingkat Terkirimitas komunikasi Li-Fi antara LOS dan NLOS terhadap variasi jarak transmisi dari 5 cm hingga 100 cm. Terlihat bahwa pada jarak pendek seperti 5 cm, 10 cm, dan 25 cm, keduanya menunjukkan performa optimal dengan tingkat Terkirimitas mencapai 100%. Ini menunjukkan

bahwa meskipun terdapat halangan secara fisik pada NLOS, cahaya pantul masih cukup kuat untuk diterima oleh penerima. Namun, ketika jarak bertambah menjadi 50 cm, terjadi penurunan performa yang signifikan pada NLOS (turun menjadi 70%), sedangkan LOS masih mampu mempertahankan tingkat Terkirimitas sebesar 87%.

Pada jarak 100 cm, perbedaan performa keduanya semakin jelas. Terkirimitas transmisi LOS tetap tinggi di angka 73%, sementara NLOS turun drastis menjadi hanya 53%. Penurunan ini menunjukkan bahwa hamburan, pantulan, dan pelemahan sinyal optik semakin berdampak besar terhadap keandalan penerimaan data dalam kondisi tanpa jalur pandang langsung. Dapat disimpulkan bahwa komunikasi Li-Fi dalam kondisi LOS lebih stabil pada berbagai jarak, sedangkan NLOS hanya efektif untuk komunikasi pada jarak dekat.

C. Hasil Pengujian *Throughput*

Pada pengujian *Throughput* dilakukan dengan cara transmitter mengirimkan karakter 'A' secara terus menerus dengan delay per bit sebanyak 5 milidetik dengan konfigurasi 1 karakter terdiri dari 10 bit yaitu 1 start bit, 8 bit karakter ASCII, dan 1 stopbit. Pengujian pada setiap sample jarak dilakukan sebanyak 30 kali kemudian hasilnya di rata rata. Berdasarkan hasil pengukuran dapat dibandingkan hasil LOS dan NLOS dengan variasi jarak seperti pada Gambar 9.



GAMBAR 9
HASIL PENGUJIAN *THROUGHPUT*

Berdasarkan Gambar 9, diperlihatkan grafik perbandingan rata-rata *throughput* komunikasi Li-Fi antara kondisi LOS dan NLOS terhadap variasi jarak transmisi, dalam satuan bit per second (bps). Pada jarak pendek, yaitu 5 cm hingga 25 cm, *throughput* yang dihasilkan oleh LOS dan NLOS relatif setara dengan nilai maksimum 160 bps, menunjukkan bahwa pada rentang ini sinyal cahaya dapat diterima dengan baik, baik secara langsung maupun melalui pantulan. Namun, pada jarak 50 cm dan 100 cm, performa keduanya mulai menunjukkan perbedaan signifikan. *Throughput* LOS hanya mengalami penurunan kecil menjadi 154 bps dan 150 bps, sedangkan NLOS mengalami penurunan lebih tajam menjadi 141 bps di 50 cm dan hanya 72 bps di 100 cm.

Karakteristik penurunan *throughput* pada kondisi NLOS disebabkan oleh semakin lemahnya intensitas pantulan cahaya yang diterima oleh sensor penerima. Pada jarak yang lebih jauh, banyak data yang gagal diterima secara utuh akibat penurunan sinyal atau distorsi akibat hamburan dan refleksi yang tidak optimal. Sementara itu, kondisi LOS

masih mampu menjaga stabilitas transmisi karena cahaya diterima secara langsung tanpa halangan yang berarti. Penurunan pada NLOS ini menunjukkan batasan sistem komunikasi optik berbasis pantulan, terutama ketika digunakan dalam skenario tanpa garis pandang pada jarak lebih dari 50 cm. Dapat disimpulkan bahwa komunikasi Li-Fi dalam kondisi NLOS lebih rentan terhadap kehilangan data pada jarak jauh dibandingkan dengan LOS.

C. Hasil Pengujian *Bit Error Rate*

Pengukuran BER dilakukan dengan menggunakan karakter 'A' yang dikirim secara berulang melalui LED sebagai pemancar dalam sistem komunikasi Li-Fi. Karakter tersebut dikonversi ke dalam bit-bit digital dan ditransmisikan melalui pola nyala-mati cahaya sesuai dengan nilai bit-nya. Di sisi penerima, panel surya digunakan untuk menangkap intensitas cahaya dari LED dan mengubahnya kembali menjadi sinyal digital. Bit yang diterima kemudian dibandingkan dengan bit ideal yang seharusnya diterima untuk menentukan jumlah kesalahan transmisi dalam kasus ini bit ideal yang dapat di terima dalam 1 detik ialah 160 bit. Pengukuran dilakukan pada variasi jarak sesuai dengan skenario pengujian, dan setiap jarak diuji sebanyak 30 kali. Hasil dari pengukuran tersebut kemudian dirata-rata untuk memperoleh nilai BER yang representatif pada masing-masing jarak yang dapat dilihat pada Gambar 10.



GAMBAR 10
HASIL PENGUJIAN *BIT ERROR RATE*

Gambar 10 menampilkan grafik Bit Error Rate (BER) terhadap variasi jarak pada sistem komunikasi Li-Fi dalam dua kondisi pengujian, yaitu Line of Sight (LOS) dan Non-Line of Sight (NLOS). Pada jarak pendek 5 cm dan 10 cm, baik LOS maupun NLOS menunjukkan tingkat kesalahan 0%, menandakan bahwa sinyal diterima dengan sangat baik tanpa adanya bit error. Hal ini mencerminkan kondisi optimal di mana cahaya dari LED diterima langsung atau melalui pantulan tanpa mengalami gangguan signifikan.

Namun, perbedaan mulai terlihat pada jarak 25 cm, di mana BER NLOS mulai naik menjadi 2%, sedangkan LOS masih bertahan di 0%. Pada jarak ini, intensitas cahaya pantul mulai menurun, menyebabkan sebagian bit tidak diterima dengan benar. Ketika jarak meningkat ke 50 cm, BER LOS naik menjadi 4%, sedangkan NLOS melonjak menjadi 12%. Hal ini menunjukkan bahwa NLOS lebih rentan terhadap penurunan kualitas sinyal, terutama karena pantulan cahaya menjadi semakin lemah atau menyebar.

Penurunan paling drastis terjadi pada jarak 100 cm. BER LOS masih tergolong rendah, yakni hanya 6%, namun BER NLOS meningkat tajam hingga mencapai 55%. Nilai ini

mengindikasikan bahwa lebih dari setengah bit yang dikirim tidak diterima dengan benar dalam kondisi tanpa garis pandang langsung. Hal ini memperjelas bahwa sistem komunikasi Li-Fi dalam kondisi NLOS mengalami penurunan performa signifikan seiring bertambahnya jarak, dan menunjukkan bahwa efektivitas komunikasi berbasis cahaya sangat dipengaruhi oleh keberadaan jalur pandang langsung dan intensitas cahaya yang diterima.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan implementasi, sistem komunikasi Li-Fi berbasis Arduino UNO berhasil dibuat dengan baik menggunakan LED sebagai pemancar dan panel surya sebagai penerima. Sistem ini mampu beroperasi dalam kondisi Line of Sight (LOS) maupun Non-Line of Sight (NLOS), serta menampilkan data pengujian secara real-time melalui LCD. Uji performa menunjukkan bahwa pada jarak pendek (5–25 cm), baik LOS maupun NLOS memberikan throughput optimal sebesar 160 bps dengan tingkat kesalahan bit (BER) 0%. Namun, pada jarak 100 cm, performa komunikasi NLOS menurun signifikan dengan throughput hanya 72 bps dan BER mencapai 55%, sementara komunikasi LOS tetap stabil dengan throughput 150 bps dan BER 6%. Penurunan performa pada kondisi NLOS dipengaruhi oleh peningkatan jarak dan hambatan, yang menyebabkan peningkatan kesalahan bit dan penurunan throughput. Oleh karena itu, sistem Li-Fi lebih cocok digunakan dalam kondisi LOS untuk komunikasi jarak menengah hingga jauh, sementara NLOS hanya efektif dalam jangkauan dekat.

REFERENSI

- [1] Farooq Aftab, "Potentials and Challenges of Light Fidelity Based Indoor Communication System," *Int. J. New Comput. Archit. their Appl.*, vol. 6, no. 3, pp. 91–102, 2016, doi: 10.17781/p002152.
- [2] R. Riaz, S. S. Rizvi, F. Riaz, S. Shokat, and N. A. Mughal, "Designing of cell coverage in Light Fidelity," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 9, no. 3, pp. 44–53, 2018, doi: 10.14569/IJACSA.2018.090308.
- [3] J. N. Begam, N. Askarali, A. Natarajan, and R. Deepa, "Arduino Based Visible Light Communications between Two Devices Using Li-Fi Technology," *2021 Int. Conf. Adv. Electr. Electron. Commun. Comput. Autom. ICAECA 2021*, no. October 2021, 2021, doi: 10.1109/ICAECA52838.2021.9675573.
- [4] E. Kurniawati and A. Y. Basuki, "Prototipe Alat Transmisi Data menggunakan Gelombang Cahaya berbasis Arduino," *J. Teknol. Elektro*, vol. 12, no. 2, p. 88, 2021, doi: 10.22441/jte.2021.v12i2.007.
- [5] R. N. Rohmah and N. Zahra, "Purwarupa Alat Komunikasi dan Monitoring Pada Rumah Sakit Menggunakan Li-Fi untuk Mengurangi Gangguan Gelombang Elektromagnetik Pada Alat Medis," *El Sains J. Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 1–5, 2022, doi: 10.30996/elsains.v4i1.6431.
- [6] M. M. Gwani, A. M. Gimba, M. M. Kunya, J. N. Amos, and J. U. Mkohol, "Light Fidelity-based Home Automation System with Arduino," *Asian J. Res. Rev. Phys.*, vol. 8, no. 1, pp. 47–57, 2024, doi: 10.9734/ajr2p/2024/v8i1158.
- [7] S. Mandolkar, S. Prasad, S. Asadur Rehman, and F. Year Student, "Data Communication Between Two Pcs Using Li-Fi Technology," *Int. Res. J. Mod. Eng. Technol. Sci. www.irjmets.com @International Res. J. Mod. Eng.*, vol. 5274, no. 06, pp. 2582–5208, 2022, [Online]. Available: www.irjmets.com
- [8] H. Haas, "LiFi is a paradigm-shifting 5G technology," *Rev. Phys.*, vol. 3, no. October 2017, pp. 26–31, 2018, doi: 10.1016/j.revip.2017.10.001.
- [9] E. Ramadhani and G. P. Mahardika, "The Technology of LiFi: A Brief Introduction," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 325, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/325/1/012013.
- [10] N. Tjahjamoonsih and J. Marpaung, "Analisis Pengaruh Kanal Propagasi Los dan Nlos Terhadap Daya Terima Pada Sistem First Person View," vol. 4, no. 7, pp. 2153–2168, 2024.
- [11] F. Gustiyana, M. Amanaf, and D. Kurnianto, "Implementasi Protokol LoRaWan Pada Perangkat Monitoring Kelembapan Tanah Pertanian," *Conf. Electr. Eng. Telemat. Ind. Technol. Creat. Media*, vol. 2, no. 1, pp. 209–214, 2019.
- [12] Sewio, "LOS and NLOS," 2024. <https://docs.sewio.net/docs/los-vs-nlos-25593229.html> (accessed Mar. 16, 2025).