

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM KOMUNIKASI LED KE LED BERBASIS FPGA

1st Nurhikmah Amir B
D3 Teknologi Telekomunikasi Telkom
University
Bandung, Indonesia
nurhikmah@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Denny Darlis, S.Si., M. T. D3 Teknologi
Telekomunikasi Telkom University
Bandung, Indonesia
dennydarlis@telkomuniversity.ac.id

3rd Aris Hartaman, S.T., M.T. D3
Teknologi Telekomunikasi Telkom
University
Bandung, Indonesia
arishartaman@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Sistem komunikasi berbasis cahaya menjadi alternatif solusi untuk transmisi data nirkabel jarak pendek yang hemat energi dan tahan terhadap interferensi elektromagnetik. Tugas Akhir ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem komunikasi data satu arah berbasis cahaya inframerah dengan menggunakan board FPGA DE0-Nano sebagai pemancar dan mikrokontroler ESP8266 sebagai penerima. Sistem ini mengirimkan data berupa teks dari satu komputer ke komputer lainnya melalui media cahaya, dengan LED inframerah sebagai pemancar dan sebagai penerima. Sinyal cahaya yang diterima diperkuat menggunakan rangkaian op-amp LM358 sebelum dikonversi menjadi data digital oleh ESP8266, lalu ditampilkan secara real-time melalui komunikasi serial ke komputer. Perancangan sistem mencakup pemrograman modul UART pada FPGA menggunakan bahasa Verilog HDL, serta pengolahan dan penguatan sinyal pada sisi penerima. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan jarak dan sudut antara LED dan photodiode. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan data secara utuh hingga jarak 15 cm dan tetap dapat berfungsi dengan baik pada sudut maksimum $\pm 5^\circ$ terhadap posisi tegak lurus. Di luar rentang tersebut, kualitas penerimaan data menurun signifikan karena intensitas cahaya yang diterima berkurang.

Kata kunci— VLC, FPGA, LED, UART, OOK

I. PENDAHULUAN

Perkembangan telekomunikasi saat ini telah berkembang pesat. Yang pada awalnya kita hanya bisa melakukan komunikasi hanya dengan mengirimkan pesan berupa gambar dari pengirim ke penerima dengan menggunakan jaringan nirkabel maupun kabel, namun kini kita bisa melakukan komunikasi dengan melakukan pengiriman data berupa gambar juga [1]

Visible Light Communication (VLC) merupakan teknologi komunikasi yang memanfaatkan cahaya tampak, khususnya dari Light Emitting Diode (LED), untuk mengirimkan data dengan cara menumpangkan informasi pada sinyal cahaya tersebut [2]. Teknologi ini memiliki beberapa keunggulan, antara lain memanfaatkan spektrum cahaya tampak yang belum digunakan secara luas, bebas dari interferensi elektromagnetik karena tidak menggunakan frekuensi radio, serta memiliki keamanan yang lebih tinggi diruang terbatas karena cahaya tidak dapat menembus dinding.

Penelitian terdahulu oleh Prajna Deshanta Ibnugraha telah mengembangkan sistem komunikasi berbasis VLC untuk mengirimkan data berupa video menggunakan Arduino Uno sebagai pengendali utama [3]. Hasilnya menunjukkan bahwa perangkat keras sederhana dapat digunakan untuk membangun sistem komunikasi berbasis cahaya dengan kinerja yang cukup baik. Namun, penelitian tersebut masih memiliki keterbatasan dalam fleksibilitas dan performa sistem, sehingga menjadi dasar pengembangan untuk penelitian ini dengan lingkup yang lebih luas.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem komunikasi berbasis cahaya tampak yang mampu mengirimkan berbagai jenis data, khususnya teks, dari komputer A ke komputer B. Sistem menggunakan FPGA DE0-Nano sebagai pemancar dan mikrokontroler dengan antarmuka UART sebagai penerima. Pengujian dilakukan pada jarak hingga 20 cm dengan variasi sudut pancaran cahaya sebesar 0° , 5° , 10° , dan 15° , serta pengukuran bit rate untuk mengevaluasi performa sistem. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat tercipta sistem komunikasi jarak pendek yang efisien, aman, dan berpotensi mendukung perkembangan teknologi komunikasi berbasis cahaya di masa depan.

II. KAJIAN TEORI

A. Visible Light Communication (VLC)

Visible Light Communication (VLC) merupakan teknologi komunikasi data yang memanfaatkan cahaya tampak sebagai media untuk mengirimkan informasi. Cahaya tampak yang umumnya digunakan untuk penerangan kini juga dapat difungsikan sebagai sarana transmisi data. Proses komunikasi dapat dilakukan cukup dengan menyalakan lampu. Melalui VLC, informasi seperti teks dapat dikirimkan dalam satu ruangan dengan jarak tertentu tanpa memerlukan kabel. Teknologi ini bekerja pada rentang panjang gelombang cahaya tampak antara 375 nm hingga 780 nm, dengan memanfaatkan LED sebagai pemancar (transmitter), cahaya sebagai jalur transmisi, dan fotodetektor sebagai penerima (receiver) [4].

B. Light Emitting Diode (LED) Inframerah

Light Emitting Diode (LED) merupakan komponen elektronika yang memancarkan cahaya akibat perubahan

energi listrik. Komponen ini hanya dapat mengalirkan arus listrik dalam satu arah, yaitu ketika kaki anoda dihubungkan ke tegangan positif dan kaki katoda ke tegangan negatif [5]. LED inframerah (Infrared LED atau IR LED) adalah jenis dioda pemancar cahaya yang menghasilkan radiasi dalam spektrum inframerah, sehingga tidak dapat dilihat oleh mata manusia. Komponen ini banyak digunakan pada berbagai aplikasi, seperti remote control, sensor gerak, dan sistem komunikasi data nirkabel. Saat arus listrik mengalir melaluinya, LED IR memancarkan foton berupa cahaya inframerah yang dapat dimanfaatkan untuk mengirimkan sinyal atau mendeteksi keberadaan objek. Selain sebagai pemancar cahaya, LED juga dapat berfungsi sebagai sensor cahaya. Dalam konfigurasi bias terbalik dan dihubungkan ke mikrokontroler, LED akan mengisi kapasitas internalnya. Meskipun kinerjanya tidak setinggi sensor khusus, metode ini cukup dalam mendeteksi tingkat intensitas cahaya [6].

C. Field Programmable Gate Array (FPGA)

Field Programmable Gate Array (FPGA) adalah perangkat yang tersusun dari ribuan hingga jutaan transistor yang saling terhubung dan dapat diprogram untuk menjalankan berbagai fungsi logika. Fungsi tersebut meliputi operasi aritmetika seperti penjumlahan (addition) dan pengurangan (subtraction), serta proses deteksi dan koreksi kesalahan digital yang kompleks [7]. Pemanfaatan FPGA pada sistem VLC memungkinkan pengintegrasian berbagai modul pemrosesan, antara lain modulasi dan demodulasi sinyal, pengkodean serta dekode data, hingga pengaturan intensitas cahaya LED untuk mengirimkan informasi.

D. Modulasi Sinyal

Modulasi merupakan proses menumpangkan sinyal informasi pada sinyal pembawa. Terdapat dua jenis utama modulasi, yaitu modulasi analog dan modulasi digital. Modulasi digital adalah teknik mengubah karakteristik sinyal pembawa menjadi bentuk bit biner (0 atau 1). Salah satu bentuk modulasi digital yang paling sederhana adalah On-Off Keying (OOK), yang termasuk dalam kategori Amplitude Shift Keying (ASK). Pada OOK, bit “1” direpresentasikan dengan adanya pulsa atau kondisi sumber cahaya menyala (on), sedangkan bit “0” direpresentasikan dengan tidak adanya pulsa atau kondisi sumber cahaya mati (off). Secara sederhana, prinsip OOK dapat diibaratkan seperti sakelar yang hanya memiliki dua posisi, yaitu “on” dan “off” [8].

E. Bit Rate

Bit Rate adalah jumlah data yang diproses atau dikirimkan dalam satuan waktu tertentu. Nilainya biasanya dinyatakan dalam satuan kilobit per detik (Kbps) atau megabit per detik (Mbps). Sementara itu, Bit Error Rate (BER) digunakan untuk mengukur tingkat kesalahan pada data yang diterima. Dalam beberapa kondisi, kecepatan transmisi data tidak dapat diubah karena dibatasi oleh nilai bandwidth. Namun, pengaturan pada perangkat keluaran (output device) dapat membantu mengoptimalkan kinerja transmisi [9]. Bit rate menunjukkan kualitas data yang dikirim dan diterima. Nilai bit yang lebih tinggi menunjukkan kualitas data yang lebih jelas dan baik.

F. Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART)

Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) adalah sistem komunikasi yang berfungsi untuk mengubah data paralel menjadi data serial saat pengiriman, dan sebaliknya saat penerimaan. Pada sistem UART, pengiriman data berlangsung berdasarkan perubahan sinyal (simbol) yang terjadi dalam satuan waktu tertentu yang disebut baud rate, dan agar komunikasi berjalan dengan benar, fase clock pada sisi pengirim dan penerima harus tetap sinkron. Saat tidak digunakan, jalur transmisi UART berada dalam kondisi logika tinggi (“1”). Ketika pengirim akan mulai mengirimkan data, jalur tersebut terlebih dahulu berubah ke logika rendah (“0”) sebagai sinyal “Start”, yang kemudian digunakan oleh penerima untuk menyelaraskan clock-nya dengan pengirim. Data kemudian dikirim secara berurutan, mulai dari bit paling rendah hingga bit paling tinggi, dan diakhiri dengan sinyal “Stop” yang menandakan akhir dari transmisi data. Salah satu keunggulan komunikasi UART adalah kesederhanaannya, karena hanya memerlukan tiga jalur kabel yaitu TX (transmit), RX (receive), dan GND (ground) untuk dapat berfungsi [10].

G. Quartus II

Quartus II adalah perangkat lunak desain digital yang dikembangkan oleh Altera (kini menjadi bagian dari Intel) untuk merancang, menyintesis, dan mengimplementasikan sistem digital pada FPGA, seperti seri Cyclone II. Pada proyek ini, Quartus II digunakan sebagai alat utama untuk membuat dan menyusun desain logika digital dengan menggunakan bahasa pemrograman VHDL (VHSIC Hardware Description Language) [11]. Pada DE0-Nano, Quartus digunakan untuk merancang logika pemrosesan data, seperti sistem komunikasi UART, pengendali LED IR transmitter, dan penerima data digital. Setelah proses desain dan simulasi selesai dilakukan di Quartus, file konfigurasi diunduh ke board DE0-Nano melalui antarmuka USB-Blaster bawaan.

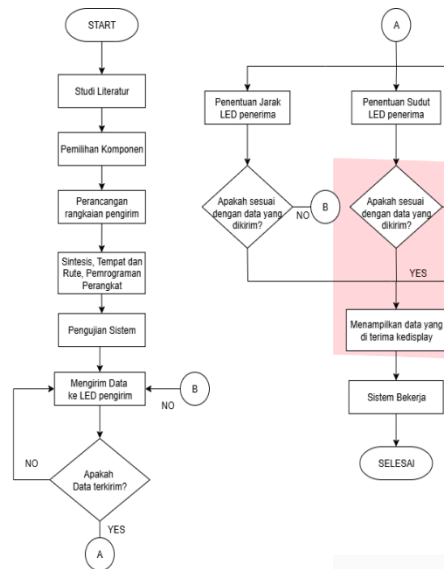
III. METODE

Bab ini membahas metode yang digunakan dalam perancangan dan implementasi sistem komunikasi data nirkabel berbasis cahaya inframerah. Sistem ini dirancang untuk mengirimkan data dari komputer A ke komputer B dengan memanfaatkan FPGA DE0-Nano sebagai unit pemancar (transmitter) dan ESP8266 NodeMCU sebagai unit penerima (receiver). Proses komunikasi dilakukan melalui media cahaya yang dipancarkan oleh LED inframerah (IR) dan diterima oleh LED photodiode, kemudian diproses oleh mikrokontroler untuk ditampilkan pada perangkat penerima.

A. Alur Kerja Sistem

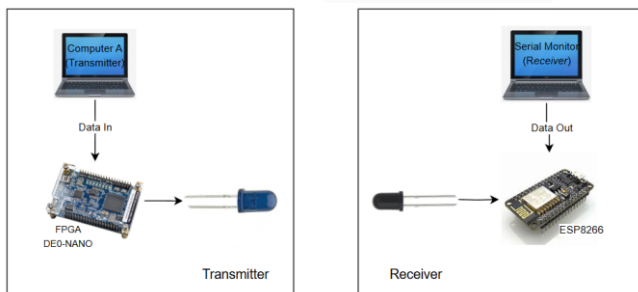
Alur kerja sistem secara umum menunjukkan tahapan mulai dari perencanaan hingga pengujian akhir. Proses dimulai dengan studi literatur untuk memahami konsep komunikasi berbasis cahaya inframerah, FPGA, dan mikrokontroler, kemudian menentukan komponen utama seperti FPGA DE0-Nano, LED IR sebagai pemancar, LED photodiode sebagai penerima, serta perangkat lunak pendukung. Selanjutnya dilakukan perancangan sistem meliputi pengaturan koneksi antarperangkat dan komunikasi antara komputer, FPGA, serta LED IR. Desain yang telah

dibuat diimplementasikan ke FPGA melalui proses synthesis, place & route, dan device programming. Tahap berikutnya adalah pengujian fungsi LED IR pemancar, pengujian transmisi data, serta verifikasi kesesuaian data yang diterima. Jika sistem telah berfungsi dengan baik, dilakukan pengujian jarak untuk mengetahui batas jangkauan sinyal dan optimasi jika diperlukan, diikuti pengukuran bit rate untuk menilai kecepatan transfer data. Hasil penerimaan akhir kemudian ditampilkan pada layar komputer penerima.



GAMBAR 1
Flowchart Alur Kerja

B. Model Sistem

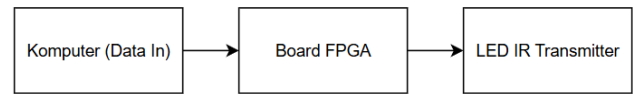


GAMBAR 2
Blok Diagram Sistem

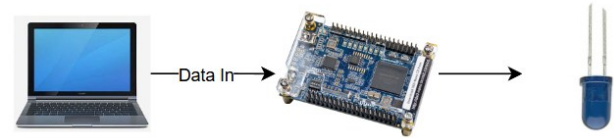
Pada Gambar 2, blok diagram pemodelan sistem menggambarkan alur kerja komunikasi data nirkabel berbasis cahaya inframerah yang dirancang menggunakan dua buah FPGA DE0-Nano sebagai pengendali utama. Proses dimulai dari pengiriman data digital oleh Komputer A ke FPGA pemancar, yang kemudian mengubah data tersebut menjadi sinyal cahaya termodulasi menggunakan teknik seperti On-Off Keying (OOK) melalui LED infrared (IR). Sinyal cahaya ini dipancarkan ke arah photodiode pada sisi penerima, yang berfungsi mengubahnya kembali menjadi sinyal listrik. Sinyal tersebut selanjutnya diproses oleh FPGA penerima dan dikirim ke Komputer B dalam bentuk data digital. Seluruh proses ini dirancang untuk bekerja secara terintegrasi sebagai simulasi awal komunikasi Visible Light Communication (VLC) berbasis inframerah, yang aman,

bebas dari interferensi gelombang radio, dan cocok untuk aplikasi komunikasi jarak pendek.

C. Perancangan Transmitter

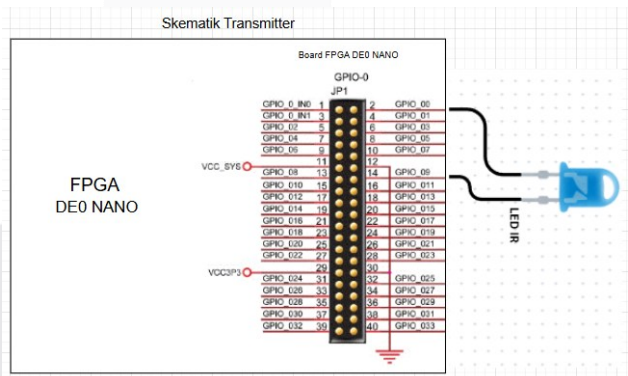


GAMBAR 3
Flowchart Transmitter



GAMBAR 4
Komponen Transmitter

Berdasarkan Gambar 3, sistem transmitter ini terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terhubung. FPGA DE0-Nano menerima data digital dari komputer melalui komunikasi UART, kemudian memprosesnya sesuai logika yang telah diprogram. Data tersebut diubah menjadi sinyal digital biner dan dimodulasi menggunakan teknik On-Off Keying (OOK) untuk mengendalikan LED infrared (IR) sebagai pemancar. LED IR dipasang pada breadboard dan dihubungkan langsung ke pin output GPIO FPGA. Saat output bernilai logika tinggi (HIGH), arus mengalir sehingga LED IR menyala dan memancarkan cahaya inframerah. Sebaliknya, ketika output bernilai logika rendah (LOW), LED IR padam. Cahaya inframerah yang dipancarkan inilah yang menjadi media transmisi data menuju LED photodiode pada sisi penerima.



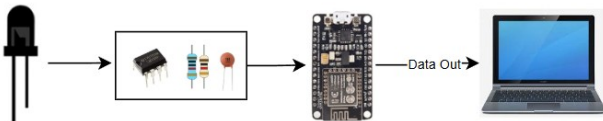
GAMBAR 5
Skematik Perancangan Transmitter

Gambar 5 memperlihatkan skematik transmitter yang menghubungkan FPGA DE0-Nano dengan LED inframerah (IR) melalui pin GPIO. Pada rangkaian ini, salah satu pin GPIO FPGA berfungsi sebagai output untuk mengirimkan sinyal digital hasil pemrosesan dari logika internal FPGA. Sinyal ini secara langsung mengendalikan LED IR, di mana kondisi logika tinggi (HIGH) akan menyalakan LED dan memancarkan cahaya inframerah, sedangkan kondisi logika rendah (LOW) akan mematikannya. LED IR berperan sebagai pemancar cahaya yang digunakan sebagai media transmisi data menuju photodiode pada sisi penerima.

D. Perancangan Receiver

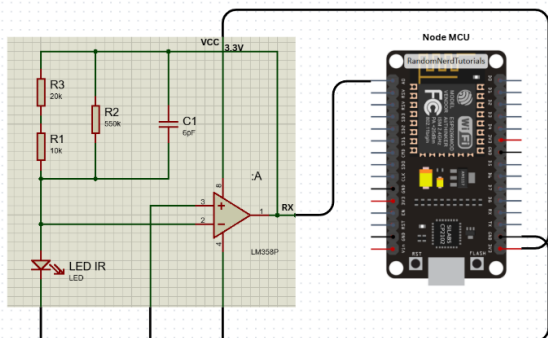


GAMBAR 6
Flowchart Receiver

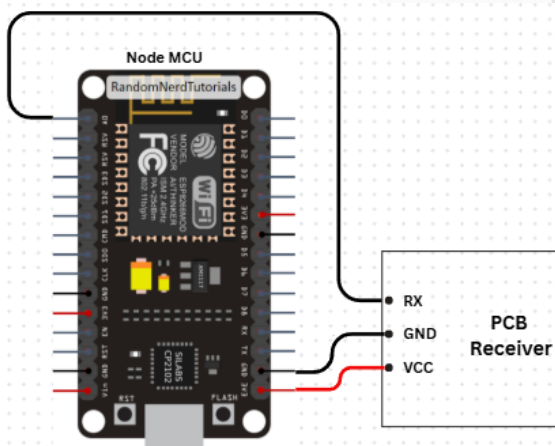


GAMBAR 7
Komponen Receiver

Gambar 6 dan gambar 7 menunjukkan alur kerja dan susunan komponen utama pada sistem receiver. Proses dimulai dari LED photodiode yang berfungsi menangkap cahaya inframerah yang dipancarkan oleh LED IR pada sisi transmitter, kemudian mengubahnya menjadi sinyal listrik berarus sangat kecil. Sinyal ini selanjutnya diperkuat menggunakan rangkaian penguat operasional (op-amp) LM358 agar memiliki amplitudo yang cukup untuk diproses oleh mikrokontroler. Output dari penguat kemudian dikirimkan ke pin RX pada mikrokontroler ESP8266 NodeMCU, yang bertugas mengolah data dan meneruskannya ke komputer melalui komunikasi serial. Data hasil penerimaan ditampilkan pada serial monitor sebagai keluaran akhir sistem, yang merepresentasikan informasi yang dikirim dari sisi pemancar.



GAMBAR 8
Skematik Op-Amp Receiver



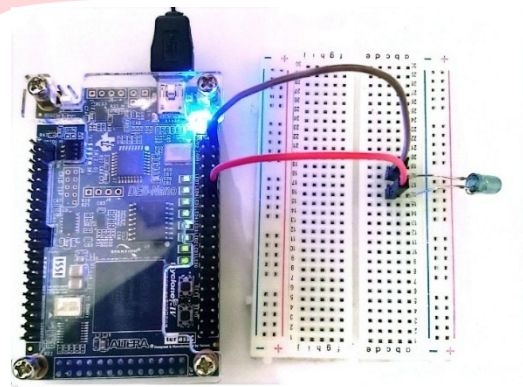
GAMBAR 9
Skematik Receiver

Rangkaian Receiver pada Gambar 8 juga memperlihatkan rangkaian receiver menggunakan LED IR, resistor, kapasitor, dan konfigurasi pin Op-Amp LM358 yang diintegrasikan ke NodeMCU seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Rangkaian ini dihubungkan melalui jalur RX, VCC, dan GND pada NodeMCU yang terhubung langsung dengan PCB receiver untuk menerima sinyal cahaya inframerah yang telah diperkuat. Berikut penjelasan konfigurasi pin pada tabel 1 dibawah ini.

TABEL 1
Pin PCB RX dan NodeMCU

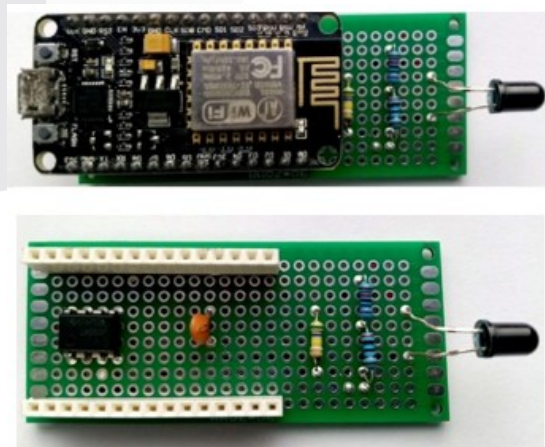
PCB RX	Pin NodeMCU	Keterangan
RX (pin 1 LM358)	A0	Jalur komunikasi data serial.
GND (PIN 4 LM358)	GND	Referensi tegangan.
VCC (pin 8 LM358)	3.3 V	Memberikan suplai daya sebesar 3.3

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN



GAMBAR 10
Hasil Perancangan Sistem TX

Rangkaian transmitter di mana pin UART TX pada FPGA DE0-Nano terhubung langsung ke anoda LED inframerah melalui breadboard, sementara katodanya ke ground FPGA.

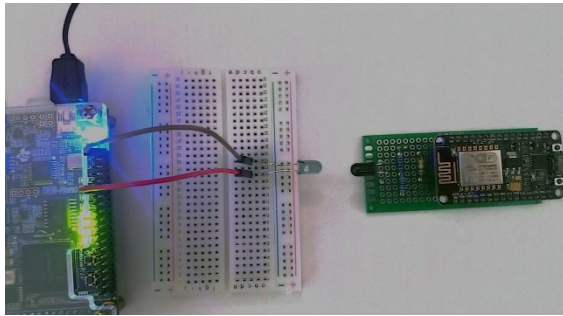


GAMBAR 11
Hasil Perancangan RX

Rangkaian receiver ini menggunakan LED IR photodiode untuk menerima sinyal cahaya dari pemancar, yang menghasilkan arus sangat kecil. Arus ini diperkuat

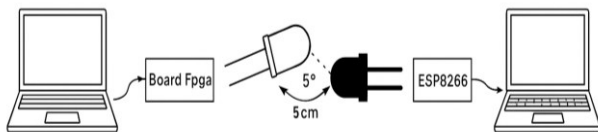
menggunakan op-amp LM358 dalam konfigurasi penguat transimpedansi, yang mengubah arus menjadi tegangan. Resistor dan kapasitor mengatur gain serta menjaga kestabilan sinyal. Tegangan keluaran penguat kemudian dikirim ke pin GPIO NodeMCU ESP8266 untuk dibaca melalui UART dan diteruskan ke komputer via USB agar data digital dapat ditampilkan pada serial monitor.

Agar proses transmisi sinyal cahaya dari TX ke RX dapat bekerja secara maksimal, posisi transmitter dan receiver diatur saling sejajar menghadap satu sama lain, seperti ditunjukkan pada Gambar 12 berikut.



GAMBAR 12
Hasil Perancangan Keseluruhan Sistem

Untuk menguji kinerja sistem komunikasi LED-ke-LED yang telah dirancang, dilakukan pengujian berdasarkan tiga parameter utama, yaitu jarak, sudut, dan bit rate. Gambar 13 berikut menampilkan ilustrasi umum dari pengujian tersebut.



GAMBAR 13
Ilustrasi Pengujian

A. Pengujian Jarak dan Sudut TX Terhadap RX

Pengujian kinerja sistem komunikasi cahaya inframerah dilakukan dengan variasi jarak 0–20 cm dan sudut kemiringan 0°–20° antara LED pemancar (Tx) dan photodiode penerima (Rx) di dalam ruangan dengan pencahayaan normal. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin besar jarak dan sudut kemiringan, kualitas penerimaan data menurun. Pada sudut 0° dan 5°, transmisi masih berjalan baik hingga 15 cm, namun pada sudut di atas 10°, performa menurun signifikan meskipun pada jarak pendek.

TABEL 2
Hasil pengujian Jarak dan sudut Tx Terhadap Rx

No	Sudut/Jarak	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
1	0°	Berhasil	Berhasil	Cukup Berhasil	Gagal
2	5°	Berhasil	Gagal	Gagal	Gagal
3	10°	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
4	15°	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
5	20°	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal

B. Pengukuran Bit Rate

Pengujian bit rate pada baudrate 115200 bps menunjukkan bahwa sistem komunikasi cahaya inframerah bekerja optimal pada sudut 0° dengan jarak efektif hingga 10

cm. Pada jarak 15 cm, penerimaan masih memungkinkan namun dengan keterlambatan, sedangkan pada 20 cm gagal. Sudut 5° hanya berhasil pada jarak 5 cm, sementara sudut 10° ke atas gagal pada semua jarak. Hal ini menunjukkan bahwa bit rate optimal dicapai saat pemancar dan penerima sejajar dengan jarak dekat.

V. KESIMPULAN

Sistem komunikasi data berbasis cahaya inframerah (VLC) yang dirancang berhasil direalisasikan sesuai tujuan, mampu mengirimkan data digital dari FPGA DE0-Nano melalui LED IR transmitter ke LED IR receiver yang terhubung ke mikrokontroler ESP8266 dengan performa stabil pada jarak 0–15 cm dan sudut 0° hingga $\pm 5^\circ$ tanpa kehilangan karakter. Kestabilan ini didukung oleh penguat sinyal berbasis op-amp LM358 yang meningkatkan tegangan keluaran LED photodiode, sehingga data tetap dapat diterima dengan baik meskipun intensitas cahaya menurun. Pengujian menunjukkan kinerja optimal dicapai dalam kondisi minim cahaya, sedangkan cahaya sekitar seperti sinar matahari atau lampu ruangan dapat menimbulkan interferensi dan menurunkan akurasi penerimaan sinyal.

REFERENSI

- [1] Aska, F. B., Darlis, D., & Hafidudin, H., "Implementasi visible light communication untuk pengiriman data digital," *eProceedings of Applied Science*, vol. 1, no. 1, p. 897, 2015.
- [2] Haninditya, M., Hambali, A., & Sunarya, U., "Perancangan Dan Analisis Pengiriman Data Digital Pada Vlc Dengan Interferensi Cahaya," *eProceedings of Engineering*, vol. 5, no. 1, p. 691, 2018.
- [3] Ibnugraha, P. D., & Rosmiati, M., "Mengirim Data Berupa Video Melalui Cahaya Tampak (Visible Light Communication) Berbasis Arduino Uno," *eProceedings of*, vol. 9, no. 5, p. 2339, 2023.
- [4] Rabbani, I., Darlis, D., & Hartaman, A., "Implementasi Blok Penerima Visible Light Communication untuk Smart Parking," *eProceedings of Applied Science*, vol. 5, no. 3, p. 2884, 2019.
- [5] Pambudi, A., Roza, E., & Fayakun, K., "Penentuan Kerapatan Cahaya Pada Sistem VLC (Visible Light Communication)," *Seminar Nasional TEKNOKA*, vol. 5, p. 193, 2020.
- [6] Hackaday, "You Can Use LEDs As Sensors, Too," 23 jul 2024. [Online]. Available: <https://hackaday.com/2024/07/23/you-can-use-leds-as-sensors-too/>. [Accessed 28 jan 2025].
- [7] Argia Putri, P., & Erlin, W., "Pengembangan Modul Pembelajaran Elektronika Digital li Menggunakan Fpga (Field Programmer Gate Array)," *Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung*, p. 3, 2018.

- [8] Maulana, A. S., Sujatmoko, K., & Pamukti, B, "Pengaruh Modulasi Ook Dan Qam Pada Komunikasi Cahaya Tampak Dengan Penambahan Reflektor," *eProceedings of Engineering*, vol. 6, no. 2, p. 4299, 2019.
- [9] Lidya, S., Sujatmoko, K., & Ryanu, H. H., "Analisa Performansi Sistem Visible Light Communication (vlc) Dengan 2× 2 Mimo Pada Kanal Line Of Sight.," *eProceedings of Engineering*, vol. 8, no. 5, p. 4594, 2021.
- [10] LIGHT, P. D. I. U. V. , "COMMUNICATION (UVLC) UNTUK PENGIRIMAN DATA DIGITAL MENGGUNAKAN FILTER WARNA.," 2019.
- [11] Suman, G., Mishra, D. K., & Soni, R., " Implementation of 8051 Microcontroller in FPGA Using VHDL With Quartus II."

