

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI *VISIBLE LIGHT-ID* BERBASIS MIKROKONTROLER

1st Bintang Aurelia J.L
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

aureecyy@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Denny Darlis
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

@tass.telkomuniversity.ac.id

3rd Aris Hartanan
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Perkembangan teknologi komunikasi berbasis cahaya tampak atau *Visible Light Communication* (VLC) membuka peluang pemanfaatan *Light Emitting Diode* (LED) tidak hanya sebagai sumber pencahayaan, tetapi juga sebagai media transmisi data. Salah satu implementasi VLC adalah *Visible Light-ID* (VL-ID), yaitu sistem identifikasi berbasis cahaya tampak yang dapat diterapkan pada sistem presensi dan aplikasi *Internet of Things* (IoT). Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem VL-ID berbasis mikrokontroler yang mampu melakukan pengiriman dan penerimaan data identitas pengguna secara nirkabel melalui cahaya tampak. Sistem terdiri dari dua bagian utama, yaitu perangkat pengirim (*tag*) yang menggunakan Arduino Nano untuk mengendalikan LED sebagai media pemancar data, serta perangkat penerima (*reader*) yang menggunakan ESP32 dan sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) untuk mendeteksi perubahan intensitas cahaya dan mengonversinya menjadi data digital. Data identitas yang berhasil diterima selanjutnya diproses oleh ESP32, ditampilkan pada Serial Monitor, dikonfirmasi melalui *Buzzer* sebagai indikator, serta dikirimkan secara real-time ke *Firebase Realtime Database* dan direkap otomatis pada *Google Spreadsheet* sebagai sistem pencatatan berbasis cloud. Pengujian sistem dilakukan berdasarkan variasi jarak, sudut pengiriman, intensitas cahaya lingkungan, serta variasi bit delay untuk mengevaluasi kestabilan dan keandalan komunikasi data. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja optimal pada jarak 1–3 cm dengan sudut pengiriman 90°, serta memiliki performa yang lebih stabil pada kondisi pencahayaan lingkungan rendah. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem VL-ID yang dirancang mampu berfungsi dengan baik sebagai solusi identifikasi berbasis cahaya yang sederhana, aman, dan terintegrasi dengan teknologi IoT.

Kata Kunci: *Visible Light Communication, Visible Light-ID, Arduino Nano, ESP32, Light Dependent Resistor, Internet of Things*

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Teknologi komunikasi dan identifikasi menggunakan cahaya tampak atau *Visible Light Communication* (VLC) menjadi salah satu bidang yang semakin menarik perhatian seiring kemajuan teknologi modern. VLC merupakan sistem komunikasi yang memanfaatkan Cahaya tampak sebagai media pembawa informasi. Perkembangan teknologi ini didorong oleh adanya pembatasan penggunaan frekuensi radio di beberapa area serta meningkatnya penggunaan lampu LED. Salah satu penerapan VLC adalah *Visible Light-ID* (VL-ID), yaitu sistem identifikasi dengan cahaya tampak yang dapat dimanfaatkan pada berbagai kebutuhan, seperti sistem akses, identifikasi pengguna, dan aplikasi IoT (*Internet of Things*). LED memiliki keunggulan berupa konsumsi daya yang rendah serta kemampuan switching yang sangat cepat, sehingga ideal digunakan untuk mentransmisikan data. Pada penelitian ini dirancang sebuah prototipe VLC menggunakan LED array dan phototransistor array yang berfungsi untuk mengirim data digital berupa teks dengan berbagai ukuran. Pengujian dilakukan dengan variasi jarak dan bitrate yang berbeda.

Pengembangan dan implementasi VL-ID berbasis mikrokontroler masih menghadapi sejumlah kendala teknis, terutama terkait perancangan sistem yang efisien. LED sendiri merupakan komponen elektronika yang memancarkan cahaya ketika dialiri arus. LED ini telah banyak digunakan sebagai sumber penerangan menggantikan lampu neon karena sifatnya yang hemat energi dan berbiaya rendah. LED menyala untuk merepresentasikan logika 1 dan padam untuk logika 0. Komponen ini juga memiliki kecepatan switching yang sangat tinggi sehingga perubahan nyala nya tidak terlihat langsung oleh mata manusia. Di dalamnya terdapat sambungan semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang diberi forward bias.

Aktivitas pengiriman data antar lokasi kini sangat umum dilakukan, dan sebagian besar mengandalkan jaringan internet berbasis Wi-Fi. Namun, sinyal Wi-Fi dapat melemah ketika perangkat melakukan multitasking, baik pada smartphone maupun komputer. Selain itu, aspek keamanan jaringan juga perlu diperhatikan mengingat banyaknya potensi penyadapan ketika menggunakan internet. Kekurangan-kekurangan inilah yang memunculkan gagasan untuk memanfaatkan cahaya tampak—yang selama ini

hanya berfungsi sebagai penerangan—sebagai media komunikasi. Teknologi berbasis cahaya tampak memungkinkan seseorang menerima data tanpa memerlukan access point, cukup dengan memanfaatkan cahaya dari lampu LED. Efisiensi dan mobilitas pun dapat meningkat apabila teknologi ini direalisasikan. Dengan hanya menyalakan lampu, seseorang dapat melakukan proses komunikasi data di dalam ruangan—mengirim berbagai jenis file dari satu titik ke titik lainnya. Jika sebelumnya hal tersebut hanya bisa dilakukan dengan perangkat seperti infrared, Bluetooth, atau aplikasi tertentu, VLC menawarkan keunggulan lebih dalam hal kecepatan, ketepatan, dan keamanan.

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang menjadi topik pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan mengembangkan sistem Visible Light-ID (VL-ID) berbasis mikrokontroler yang memanfaatkan teknologi cahaya tampak untuk transmisi data dan identifikasi data?
2. Bagaimana mengimplementasikan perangkat keras dan perangkat lunak yang terintegrasi untuk memastikan VL-ID dapat beroperasi secara optimal?
3. Bagaimana menguji kehandalan VL-ID tag dan readernya?

C. Tujuan

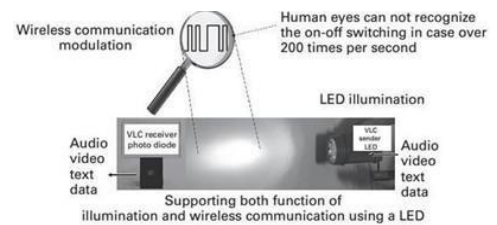
Adapun tujuan dari penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan mengembangkan sistem VL-ID berbasis mikrokontroler yang memanfaatkan teknologi Cahaya tampak untuk transmisi dan identifikasi data.
2. Bagaimana mengimplementasikan perangkat keras dan perangkat lunak yang terintegrasi untuk memastikan sistem VL-ID dapat beroperasi secara optimal.
3. Bagaimana menguji kehandalan VL-ID tag dan readernya.

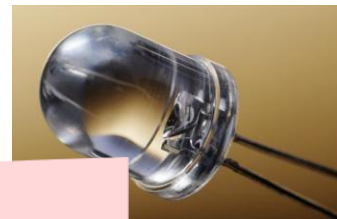
II. KAJIAN TEORI

A. Visible Light Communication (VLC)

Visible Light Communication (VLC) merupakan teknologi komunikasi yang memanfaatkan cahaya tampak sebagai media pemancar, udara sebagai saluran transmisi, serta photodetector sebagai perangkat penerima. Perkembangan VLC semakin pesat seiring dengan penggunaan LED yang memiliki efisiensi tinggi dan mampu beroperasi pada kecepatan tinggi, sehingga dapat difungsikan tidak hanya sebagai sumber penerangan tetapi juga sebagai sarana komunikasi, khususnya pada lingkungan dalam ruangan (indoor). Teknologi ini memungkinkan pengiriman data, musik, maupun video melalui proses modulasi cahaya tanpa memerlukan access point tambahan. Meskipun demikian, VLC masih memiliki keterbatasan, salah satunya rentan terhadap gangguan dari sumber cahaya lain seperti cahaya matahari. Sistem VLC beroperasi pada rentang spektrum cahaya tampak antara 375–780 nm (400–800 THz) yang mampu membawa berbagai jenis informasi secara cepat dan relatif aman.



B. Light Emitting Diode (LED)



Light Emitting Diode (LED) merupakan komponen elektronik yang mampu memancarkan cahaya monokromatik ketika diberikan tegangan maju. Perkembangan teknologi LED sangat pesat dan telah diterapkan secara luas di berbagai bidang karena menggunakan material semikonduktor serta memiliki rangkaian penggerak yang relatif sederhana. LED mampu menghasilkan intensitas cahaya yang tinggi dengan konsumsi daya yang rendah, memiliki spektrum cahaya yang sempit, dan juga dapat menghasilkan cahaya putih.

C. Mikrokontroler Arduino Nano

Arduino Nano adalah papan rangkaian elektronik *open source* yang didalamnya terdapat komponen utama yaitu, sebuah chip mikrokontroler. Arduino Nano dalam penelitian ini sebagai mikrokontroler dengan bahasa pemrograman yang mengirimkan perintah pada komponen-komponen *hardware* yang terhubung. Dimana komponen-komponen tersebut adalah sensor menerima perintah berupa ID.

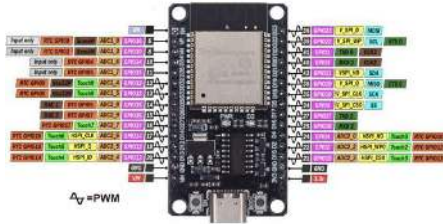


D. Light Dependent Resistor (LDR)

LDR (*Light Dependent Resistor*) merupakan salah satu jenis resistor yang nilai resistansinya dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang mengenali permukaannya. Komponen ini termasuk sensor cahaya yang mampu mengubah besaran cahaya menjadi besaran listrik, dimana nilai resistansinya akan berubah sesuai dengan tingkat pencahayaan yang diterima. LDR terbuat dari bahan semikonduktor dengan resistansi tinggi dan memiliki dua elektroda pada bagian permukaannya.



E. ESP32



ESP32 merupakan mikrokontroler yang dikembangkan oleh Espressif Systems, perusahaan berbasis di Shanghai, Tiongkok. ESP32 memiliki modul WiFi dan Bluetooth terintegrasi sehingga mendukung pengembangan sistem Internet of Things (IoT) yang memerlukan koneksi nirkabel. Mikrokontroler ini dirancang dengan konsumsi daya rendah dan dilengkapi fitur penghematan daya melalui pengaturan aktif dan nonaktif modul. Selain itu, ESP32 bersifat ekonomis, fleksibel, dan mudah diprogram menggunakan Arduino IDE maupun Python, sehingga banyak digunakan sebagai papan prototipe. Spesifikasi ESP32 sebagai berikut:

Parameter	Spesifikasi
Tegangan	2.2V – 3.6V
Prosesor	Xtensa dual-core 32-bit
Jumlah IO pin	36 Digital 18 Analog Input
Konektivitas	Wifi 802.11 b/g/n Bluetooth BLE
Frekuensi Operasi	240 MHz
Interfaces	UART, I2C, SPI

F. Baseboard ESP32



Baseboard ESP32 merupakan papan pengembangan yang dirancang untuk menempatkan modul ESP32 agar akses terhadap pin GPIO, catu daya, dan antarmuka komunikasi menjadi lebih mudah pada tahap prototyping. Baseboard ini berfungsi sebagai expansion board yang menyediakan header pin tambahan serta konektor daya, sehingga komponen eksternal seperti sensor, aktuator, dan periferal lainnya dapat dihubungkan tanpa perlu melakukan penyolderan langsung pada modul ESP32. Dengan adanya baseboard, proses pengembangan sistem berbasis ESP32 menjadi lebih cepat dan praktis karena jalur koneksi telah tersusun secara teratur. Selain itu, baseboard menyediakan antarmuka lengkap untuk pin GPIO, power (3,3 V/5 V), GND, serta komunikasi serial seperti UART, SPI, dan I2C, sehingga memudahkan integrasi dan proses debugging pada sistem IoT maupun embedded system.

G. Buzzer

Buzzer merupakan komponen elektronika yang berfungsi mengubah sinyal listrik menjadi gelombang suara. Prinsip kerja buzzer menyerupai loudspeaker, yaitu memanfaatkan kumparan yang dipasang pada diafragma.



H. Arduino IDE

Arduino IDE merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, menyunting, mengompilasi, dan mengunggah sketch program ke papan Arduino. Perangkat lunak ini dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Java dan menyediakan pustaka berbasis C/C++ (Wiring) yang memudahkan pengelolaan operasi input dan output pada sistem Arduino.



Arduino IDE

I. Firebase

Firebase merupakan layanan *Backend as a Service* (BaaS) yang dimiliki oleh Google. Firebase didirikan pada tahun 2011 oleh Andrew Lee dan James Tamplin dengan produk awal berupa *Realtime Database* yang memungkinkan penyimpanan dan sinkronisasi data secara real-time. Seiring perkembangannya, Firebase menyediakan berbagai layanan pendukung pengembangan aplikasi, dan pada Oktober 2014 resmi diakuisisi oleh Google.

Firebase

J. Google Spreadsheet

Google Spreadsheet dapat digunakan sebagai cloud database yang terhubung ke sistem embedded melalui *Application Programming Interface* (API). Memiliki beberapa kelebihan, seperti kemudahan pencatatan data, kemudahan berbagi data, dan keamanan data yang dijamin Google.



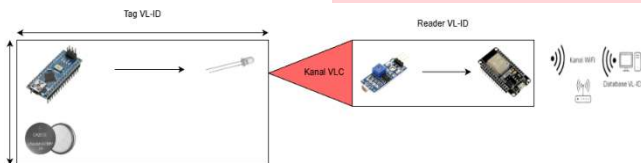
Google Sheets

III. METODE

A. Arsitektur Sistem

Sistem Visible Light-ID (VL-ID) berbasis mikrokontroler ini dirancang untuk mengidentifikasi pengguna melalui cahaya tampak menggunakan perangkat pengirim dan penerima. Arduino Nano mengendalikan LED untuk mengirim data ID melalui modulasi cahaya, sedangkan ESP32 dengan sensor LDR menerima perubahan intensitas cahaya dan mengolahnya menjadi data digital. LDR dipilih karena sistem hanya membutuhkan laju transmisi rendah sekitar 2 bit/s, sehingga keterbatasan respon tidak menjadi kendala, serta memiliki rangkaian sederhana dan biaya rendah. Data hasil penerimaan ditampilkan pada Serial Monitor, dikonfirmasi melalui buzzer, dan dikirim ke Firebase Realtime Database yang selanjutnya diteruskan ke Google Spreadsheet untuk pencatatan dan pemantauan.

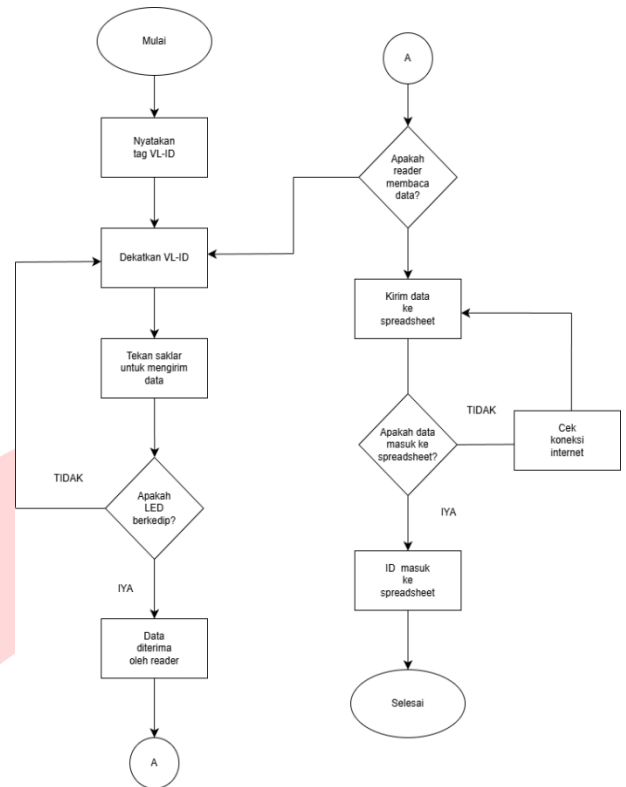
B. Diagram Sistem



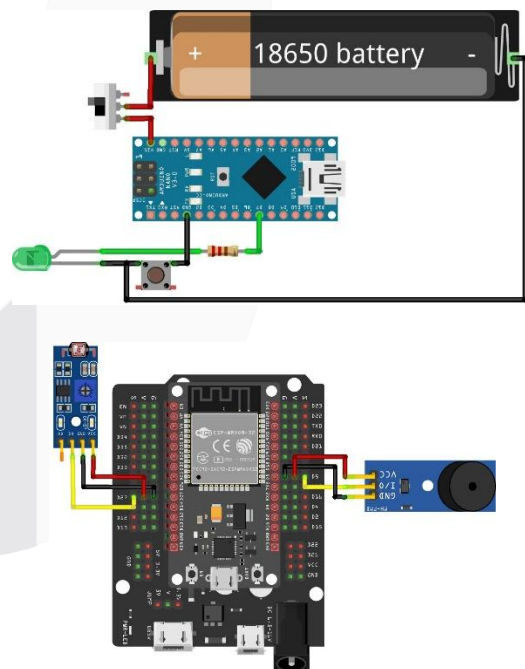
Penelitian ini membahas perancangan dan implementasi sistem Visible Light-ID berbasis mikrokontroler yang memanfaatkan cahaya tampak sebagai media transmisi data. Mikrokontroler berfungsi sebagai pengendali utama sistem yang mengatur proses pengolahan data, pengiriman informasi identitas melalui LED pada sisi pengirim, serta penerimaan dan pemrosesan data pada sisi penerima. Data identitas yang dikirimkan dimodulasikan dalam bentuk sinyal cahaya oleh LED, kemudian diterima oleh sensor cahaya pada perangkat penerima dan dikonversikan kembali menjadi sinyal listrik serta data digital untuk selanjutnya diproses oleh mikrokontroler.

Selain aspek komunikasi berbasis cahaya, sistem ini juga dirancang agar dapat bekerja secara terintegrasi dengan media penyimpanan data berbasis jaringan. Data hasil identifikasi yang berhasil diterima dapat dicatat dan dimonitor secara real-time, sehingga memudahkan proses pencatatan dan pengawasan. Penelitian ini tidak hanya berfokus pada keberhasilan pengiriman data, tetapi juga pada keandalan sistem secara keseluruhan, meliputi akurasi pembacaan data, pengaruh kondisi lingkungan terhadap performa sistem, serta kemudahan penerapan dalam skenario penggunaan nyata, seperti proses identifikasi dengan konsep tapping.

C. Alur Proses Penelitian



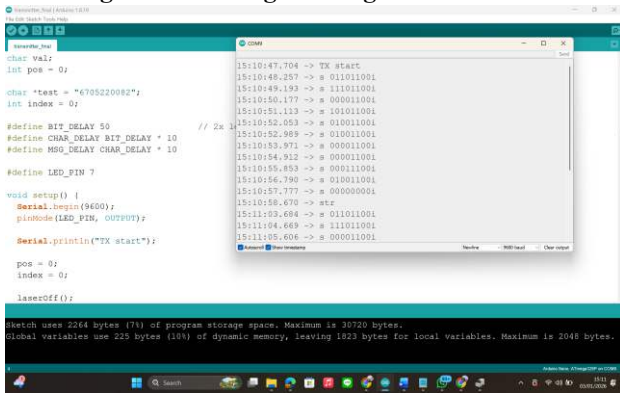
D. Perancangan Skematik Pengirim dan Penerima



E. Perancangan Pemrograman Pengirim dan Penerima

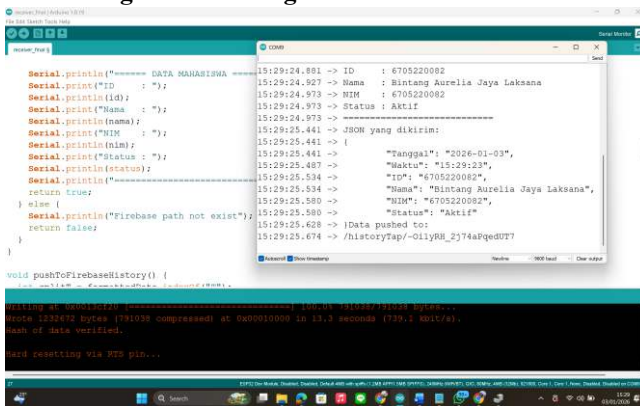
Pada pengembangan Tugas Akhir ini digunakan Arduino IDE sebagai perangkat lunak pemrograman untuk mengimplementasikan sistem pada perangkat pengirim dan penerima. Arduino IDE berfungsi untuk menuliskan, mengunggah, dan menguji program yang mengendalikan kerja sistem Visible Light-ID. Perangkat pengirim bertugas mengirimkan data identitas melalui media cahaya tampak, sedangkan perangkat penerima menggunakan ESP32 Dev Module untuk mendeteksi dan memproses data yang diterima serta meneruskannya ke database sebagai bagian dari proses identifikasi dan verifikasi.

F. Pemrograman Perangkat Pengirim



Perangkat pengirim (transmitter) merupakan bagian awal dari sistem Visible Light-ID. Pada sisi ini, Arduino Nano digunakan sebagai mikrokontroler utama yang mengendalikan proses pengiriman data identitas. Data ID diolah menjadi sinyal digital dan dimodulasikan ke dalam cahaya melalui LED sebagai media transmisi. Sistem dilengkapi dengan *slide switch* sebagai saklar daya dan baterai sebagai sumber catu daya, sehingga perangkat dapat beroperasi secara mandiri. Data kemudian dikirimkan melalui cahaya tampak menuju perangkat penerima sesuai dengan konsep Visible Light Communication (VLC).

G. Pemrograman Perangkat Penerima



Perangkat penerima berfungsi menerima data dari perangkat pengirim melalui media cahaya berdasarkan konsep Visible Light Communication (VLC). Pada sistem ini, ESP32 digunakan sebagai mikrokontroler penerima yang terhubung dengan modul LDR (Light Dependent Resistor) sebagai sensor cahaya untuk mendeteksi sinyal dari LED pengirim. Sinyal cahaya yang diterima kemudian dikonversikan menjadi sinyal listrik dan diproses oleh ESP32 untuk dilakukan pembacaan serta decoding sesuai format data yang telah ditentukan.

Data hasil pemrosesan merepresentasikan ID yang dikirim oleh perangkat pengirim. Keberhasilan penerimaan data ditandai dengan bunyi buzzer sebagai notifikasi, serta data ditampilkan pada Serial Monitor untuk keperluan pemantauan dan validasi. Dengan demikian, perangkat penerima memungkinkan sistem Visible Light-ID melakukan proses identifikasi secara efektif pada jarak dekat menggunakan cahaya sebagai media transmisi.

H. Perancangan Realtime Database Firebase

Pada penelitian ini, *Firebase Realtime Database* digunakan sebagai media penyimpanan sementara data hasil penerimaan sistem *Visible Light ID* sebelum diteruskan ke *Google Spreadsheet*. Data yang diterima oleh perangkat penerima akan dikirim dan disimpan secara *real-time* ke *Firebase* dalam bentuk struktur data terorganisir. Selanjutnya, data pada *Firebase* akan diolah dan dikirim secara otomatis ke *Google Spreadsheet* menggunakan extension *Google Apps Script*, sehingga seluruh data identitas yang diterima dapat terdokumentasi dengan baik, mudah diakses, serta digunakan untuk keperluan monitoring dan analisis pengujian sistem.

I. Tujuan Penggunaan Firebase

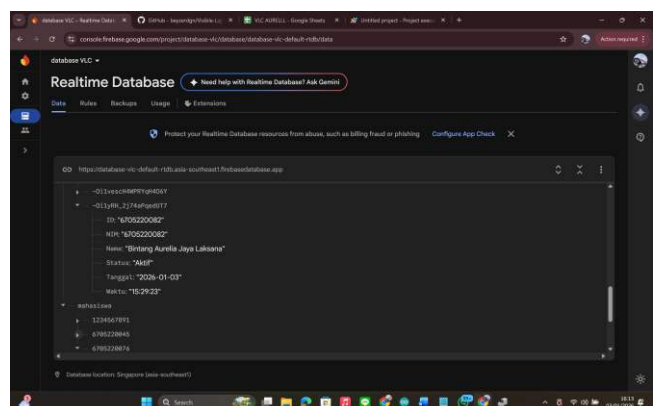
Penggunaan *Firebase Realtime Database* dalam sistem *Visible Light-ID* bertujuan untuk menyimpan data identitas (ID) hasil komunikasi berbasis cahaya secara historis, mencatat waktu penerimaan data, serta mendukung monitoring data secara *real-time*. Selain itu, *Firebase* mempermudah integrasi data ke *Google Spreadsheet* melalui *Google Apps Script* sehingga data dapat terdokumentasi secara otomatis untuk keperluan analisis dan pelaporan. *Firebase* dipilih karena kemudahan integrasinya dengan *ESP32*, kemampuan pembaruan data secara langsung, serta dukungan pengiriman data ke platform lain secara efisien.

J. Struktur Penyimpanan Data

Struktur penyimpanan data pada *Firebase Realtime Database* dirancang secara hierarkis dengan format *JSON* untuk memudahkan proses penyimpanan, pembacaan, dan pengiriman data ke *Google Spreadsheet*. Pada sistem ini, data disimpan dalam path `/log/<id_data>`, di mana `<id_data>` merupakan ID unik atau urutan data hasil proses identifikasi yang diterima oleh perangkat penerima. Setiap data yang tersimpan pada *Firebase* memiliki beberapa informasi utama sebagai berikut:

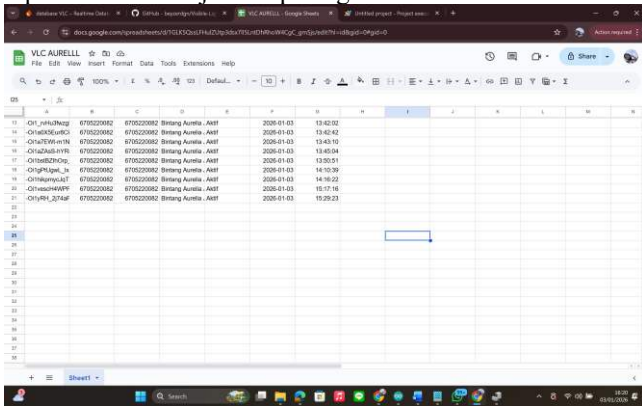
20082
20082
g Aurelia Jaya Laksana
6-01-03
3:29:23

Struktur penyimpanan data ini memungkinkan setiap data identitas tersimpan secara historis dan dapat diakses secara *real-time*. Selain itu, struktur tersebut memudahkan integrasi dengan *Google Spreadsheet* melalui *Google Apps Script* untuk keperluan pencatatan, monitoring, dan analisis data hasil pengujian sistem. Struktur penyimpanan data pada *Firebase* ditunjukkan pada gambar.



K. Hasil di Google Spreadsheet

Hasil pengujian sistem Visible Light-ID direkap secara otomatis pada Google Spreadsheet melalui integrasi Firebase Realtime Database dan Google Apps Script. Setiap data yang diterima dicatat dalam bentuk tabel berisi informasi ID secara kronologis dan dapat diakses secara real-time. Penggunaan Google Spreadsheet memudahkan dokumentasi, analisis, evaluasi performa sistem, serta pengolahan data untuk keperluan pelaporan. Hasil pengujian pada Google Spreadsheet ditunjukkan pada gambar.



L. Proses Konversi Data Karakter Menjadi Data Biner Pada Sistem Visible Light-ID

Pada sistem Visible Light-ID berbasis mikrokontroler, data identitas pengguna dikirim dalam bentuk karakter (char) berupa deretan angka. Data karakter tersebut terlebih dahulu direpresentasikan dalam format biner 8-bit oleh mikrokontroler, kemudian dimodulasikan melalui kondisi LED menyala dan mati sebagai media transmisi cahaya tampak. Setiap karakter disimpan sebagai variabel bertipe char yang secara internal diolah dalam bentuk data biner, sehingga informasi dapat dikirim sebagai rangkaian logika digital '1' dan '0' melalui nyala LED.

No	TX Data yang Dikirim (Biner)	Data yang Dikirim (ASCII)
1.	00110110	6
2.	00110111	7
3.	00110000	0
4.	00110101	5
5.	00110010	2
6.	00110010	2
7.	00110000	0
8.	00110000	0
9.	00111000	8
10.	00110010	2

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Deskripsi Hasil Perancangan

Pada subbab ini disajikan hasil perancangan, pengujian, dan pengembangan sistem Visible Light-ID berbasis mikrokontroler. Tahapan ini bertujuan untuk menunjukkan kinerja sistem secara menyeluruh sesuai dengan konsep yang diusulkan. Pengujian dilakukan untuk memastikan setiap komponen, baik perangkat keras maupun perangkat lunak, dapat beroperasi dengan baik serta terintegrasi sesuai dengan spesifikasi dan tujuan perancangan.

B. Hasil Pengujian

Pada sub bab ini dibahas hasil pengujian sistem Visible Light-ID berbasis mikrokontroler, yang meliputi integrasi antara perangkat pengirim dan perangkat penerima menggunakan media cahaya sebagai sarana komunikasi data. Proses implementasi mencakup pemrograman kedua perangkat menggunakan Arduino IDE, dimana perangkat

pengirim berfungsi untuk mengirimkan data identifikasi melalui LED, sedangkan perangkat penerima bertugas menerima sinyal cahaya menggunakan modul LDR dan memprosesnya menggunakan mikrokontroler ESP32. Data hasil penerimaan selanjutnya dikirim ke Firebase dan ditampilkan serta direkap secara otomatis pada Google Spreadsheet sebagai penyimpanan data historis hasil pengujian.

C. Pengujian Tag VL-ID Pengirim yang Telah di Program



Berdasarkan gambar di atas, pengujian Tag VL-ID sebagai perangkat pengirim menunjukkan bahwa sistem telah berhasil diprogram dan berfungsi sesuai dengan perancangan. Tag VL-ID menggunakan Arduino Nano sebagai mikrokontroler yang terhubung dengan push button sebagai pemicu pengiriman data dan LED sebagai media pemancar cahaya. Saat push button ditekan, data identifikasi yang telah diprogram dikirimkan melalui kedipan LED menggunakan konsep Visible Light Communication. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perangkat pengirim bekerja secara stabil dan dapat digunakan sebagai sumber data identifikasi pada sistem Visible Light-ID.

D. Pengujian Kinerja Sistem VL-ID Berdasarkan variasi Jarak

Berdasarkan hasil pengujian jarak antara Tag VL-ID sebagai pengirim dan Reader VL-ID sebagai penerima, sistem menunjukkan kinerja optimal pada jarak 1–3 cm pada kondisi siang, sore, maupun malam hari, di mana data identifikasi dapat diterima dengan baik oleh modul LDR. Pada jarak 4 cm, kinerja sistem mulai menurun dan pembacaan data menjadi kurang stabil akibat berkurangnya intensitas cahaya yang diterima. Sementara itu, pada jarak 5 cm sistem tidak mampu menerima data pada seluruh kondisi pengujian, sehingga dapat disimpulkan bahwa jarak kerja efektif sistem VL-ID terbatas pada jarak dekat sesuai dengan konsep identifikasi berbasis tapping.

No	Jarak (cm)	Kondisi Pengujian	Status Penerimaan Data	Keterangan
1.	1 - 3cm	Siang hari	Berhasil	Data terbaca sangat stabil
2.	1-3cm	Sore hari	Berhasil	Data terbaca dengan baik
3.	1-3cm	Malam hari	Berhasil	Data terbaca dengan baik
4.	4cm	Siang, sore, dan malam	Kurang stabil	Data kadang terbaca
5.	5cm	Siang, sore, dan malam	gagal	Data tidak terbaca

Pengujian sistem Visible Light-ID pada kondisi siang hari dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem di bawah pengaruh cahaya lingkungan yang tinggi. Pengujian menggunakan metode tapping, di mana Tag VL-ID didekatkan ke Reader VL-ID dan data dikirim saat push button ditekan. Sinyal cahaya dari LED diterima oleh modul LDR dan diproses oleh mikrokontroler. Hasil pengujian menunjukkan bahwa meskipun terdapat gangguan cahaya matahari, sistem tetap mampu menerima data dengan baik pada jarak dekat, karena LDR masih dapat membedakan sinyal LED dari cahaya lingkungan.

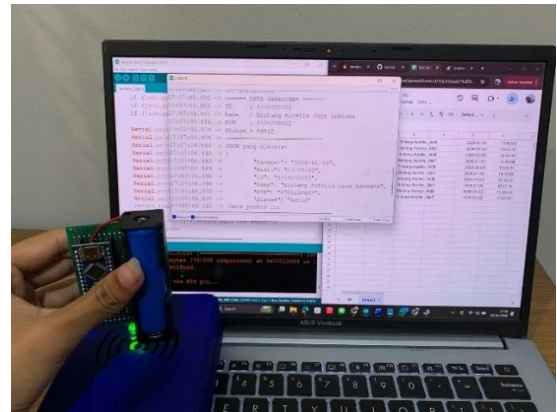


Pengujian sistem Visible Light-ID pada kondisi malam hari dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem pada tingkat pencahayaan yang lebih rendah. Pengujian menggunakan metode tapping, di mana Tag VL-ID didekatkan ke Reader VL-ID dan data dikirim saat push button ditekan. Sinyal cahaya dari LED diterima oleh modul LDR pada Reader VL-ID dan diproses oleh mikrokontroler.



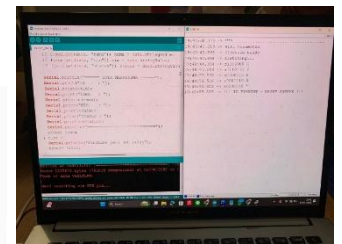
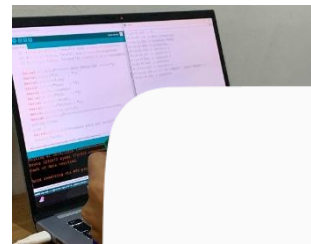
Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada kondisi malam hari sistem bekerja lebih stabil karena minimnya gangguan cahaya lingkungan. Modul LDR mampu menerima sinyal LED dengan kontras yang lebih baik sehingga proses pembacaan data berlangsung optimal. Data identifikasi yang diterima kemudian dikirim ke Firebase Realtime Database dan ditampilkan secara otomatis pada Google Spreadsheet.

Tampilan data pada Spreadsheet menunjukkan bahwa informasi ID, status, dan waktu penerimaan tercatat dengan benar, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem VL-ID memiliki kinerja yang baik dan konsisten pada kondisi malam hari.

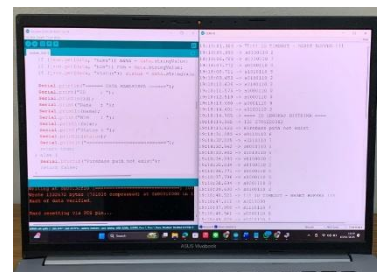


E. Pengujian Kinerja Sistem VL-ID terhadap Variasi Sudut

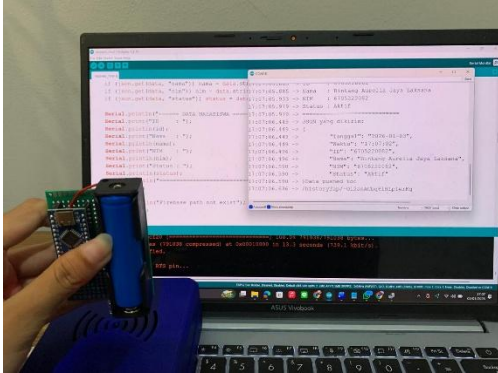
Pada pengujian dengan sudut kemiringan 90° antara Tag VL-ID sebagai pengirim dan Reader VL-ID sebagai penerima, data identifikasi tidak berhasil diterima. Hal ini ditandai dengan munculnya pesan "ID TIMEOUT – RESET BUFFER !" pada Serial Monitor, yang menunjukkan bahwa sistem penerima tidak memperoleh data ID dalam waktu yang telah ditentukan. Akibatnya, proses pembacaan dinyatakan gagal dan buffer data pada mikrokontroler direset secara otomatis untuk menunggu data selanjutnya.



Pengujian sistem VL-ID pada sudut kemiringan 20° dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan sudut terhadap kualitas penerimaan data. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data ID yang diterima tidak lengkap sehingga tidak dapat ditampilkan secara utuh pada Serial Monitor. Kondisi ini disebabkan oleh intensitas cahaya LED yang diterima modul LDR tidak cukup kuat dan tidak stabil, sehingga sebagian bit data tidak berhasil diterima. Hasil tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan transmisi data pada sistem Visible Light-ID dipengaruhi oleh sudut penempatan serta kestabilan dan intensitas cahaya.

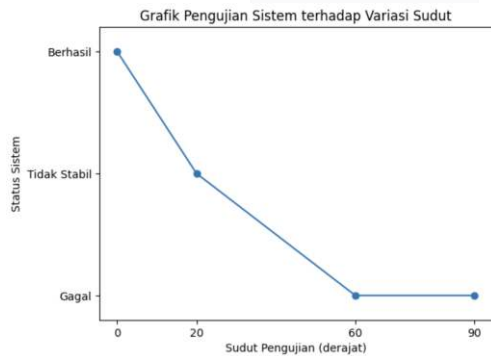
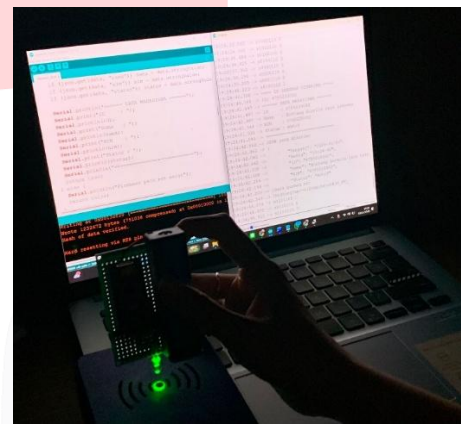


Pengujian sistem Visible Light-ID pada sudut kemiringan 0° dilakukan saat Tag VL-ID dan Reader VL-ID berada sejajar dan saling berhadapan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data ID diterima secara lengkap dan benar tanpa pesan kesalahan pada *Serial Monitor*. Kondisi ini menandakan bahwa penerimaan cahaya LED oleh modul LDR berlangsung optimal, sehingga sudut 0° merupakan posisi terbaik untuk mendukung proses identifikasi berbasis *tapping* yang stabil dan andal.



Pengujian pada kondisi cahaya gelap menunjukkan kinerja sistem VL-ID yang sangat baik, di mana data ID dapat diterima secara lengkap dan konsisten. Minimnya pencahayaan lingkungan mengurangi gangguan noise cahaya, sehingga sinyal LED pengirim dapat dideteksi dengan lebih optimal oleh modul LDR penerima.

Pengujian sudut dilakukan untuk mengetahui pengaruh kemiringan antara Tag VL-ID pengirim dan Reader VL-ID penerima terhadap keberhasilan transmisi data. Variasi sudut yang digunakan adalah 0°, 20°, dan 90°. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada sudut 0° sistem bekerja paling optimal dan stabil karena LED pengirim sejajar dengan modul LDR penerima. Pada sudut 20°, data masih dapat dikirim tetapi hasilnya kurang stabil dan tidak selalu terbaca. Sementara itu, pada sudut 90° data hampir tidak dapat diterima karena cahaya LED tidak mengenai LDR secara efektif. Hal ini menunjukkan bahwa sudut penempatan sangat berpengaruh terhadap kinerja sistem Visible Light-ID.

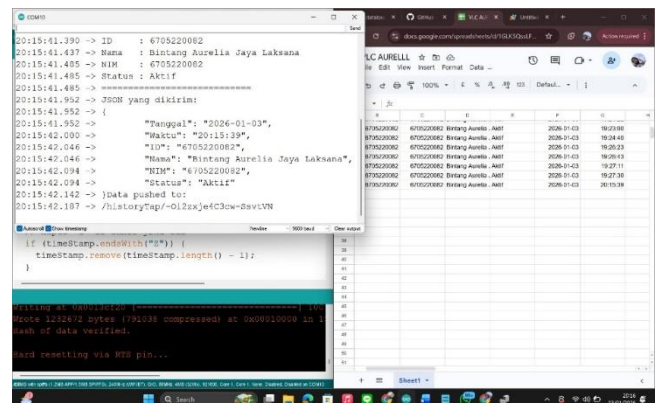


Berdasarkan hasil pengujian pada kondisi cahaya terang dan gelap, sistem Visible Light-ID masih mampu menghasilkan data ID yang lengkap pada kedua kondisi tersebut. Pada cahaya terang, sistem tetap berfungsi namun berpotensi mengalami gangguan noise cahaya yang menyebabkan pembacaan kurang stabil. Sebaliknya, pada cahaya gelap kinerja sistem lebih stabil karena minimnya gangguan dari cahaya lingkungan.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki kinerja yang serupa apabila jarak dan sudut antara perangkat pengirim dan penerima berada pada kondisi optimal. Hal ini menandakan bahwa sistem VL-ID cukup adaptif terhadap perubahan intensitas cahaya, meskipun penempatan perangkat dan pengendalian noise cahaya tetap diperlukan untuk menjaga konsistensi transmisi data.

F. Pengujian Kinerja Sistem VL-ID Terhadap Intensitas Cahaya Terang dan Gelap

Pengujian pada kondisi cahaya terang menunjukkan bahwa sistem VL-ID masih mampu mengirim dan menerima data, ditandai dengan ID yang dapat terbaca secara lengkap pada kondisi tertentu. Namun, pada intensitas cahaya yang terlalu tinggi, gangguan *noise* dari cahaya lingkungan dapat memengaruhi pembacaan modul LDR sehingga data tidak selalu terbaca dengan stabil. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun sistem dapat beroperasi pada cahaya terang, tingkat *noise* lingkungan tetap memengaruhi keberhasilan pembacaan data.



G. Pengujian Pengaruh Variasi Delay terhadap Kinerja Sistem Visible Light-ID

Pengujian variasi bit delay dilakukan untuk mengetahui pengaruh kesesuaian waktu pengiriman dan penerimaan bit terhadap keberhasilan komunikasi pada sistem Visible Light-ID. Bit delay merupakan waktu tunda pengiriman setiap bit oleh LED pada sisi pengirim (Tx) dan waktu sampling oleh sensor LDR pada sisi penerima (Rx). Pengujian dilakukan dengan variasi bit delay 10–100 ms serta dua kondisi, yaitu nilai bit delay Tx dan Rx disamakan dan dibuat berbeda.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketika nilai bit delay Tx dan Rx sama, sistem mampu menerima dan memproses data dengan baik karena sinkronisasi waktu pengiriman dan pembacaan bit berjalan sesuai. Sebaliknya, ketika nilai bit delay Tx dan Rx berbeda, data tidak dapat diterima dengan benar akibat ketidaksinkronan yang menyebabkan pergeseran bit (bit shifting). Pengujian ini juga menunjukkan bahwa bit delay yang terlalu kecil atau terlalu besar dapat memengaruhi respons LDR dan kecepatan transmisi. Oleh karena itu, sinkronisasi dan pemilihan.

No	Bit Delay TX (ms)	Bit Delay RX (ms)	Status
1.	10	10	Berhasil
2.	20	20	Berhasil
3.	30	30	Berhasil
4.	40	40	Berhasil
5.	50	50	Berhasil
6.	60	60	Berhasil
7.	70	70	Berhasil
8.	80	80	Berhasil
9.	90	90	Berhasil
10.	100	100	Berhasil
11.	20	10	Tidak Berhasil
12.	30	20	Tidak Berhasil
13.	50	30	Tidak Berhasil
14.	70	50	Tidak Berhasil
15.	100	80	Tidak Berhasil

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, sistem Visible Light-ID berbasis mikrokontroler berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan memanfaatkan LED sebagai media transmisi data identitas tanpa menggunakan komunikasi berbasis gelombang radio. Sistem mampu mengirimkan data identitas secara stabil pada jarak dan sudut tertentu sesuai dengan konsep identifikasi berbasis *tapping*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja optimal pada jarak 1–3 cm dan pada posisi sejajar antara LED pengirim dan LDR penerima. Perangkat penerima yang menggunakan ESP32 dan sensor LDR menunjukkan kinerja penerimaan data yang baik dan stabil. Selain itu, sistem berhasil terintegrasi dengan Firebase Realtime Database dan Google Spreadsheet sehingga data dapat disimpan, direkap, dan dimonitor secara real-time, mendukung penerapan sistem identifikasi dan presensi berbasis IoT.

B. Saran

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian sistem Visible Light-ID berbasis mikrokontroler, masih terdapat peluang pengembangan untuk meningkatkan performa sistem secara keseluruhan. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memanfaatkan sensor cahaya dengan tingkat sensitivitas dan kecepatan respons yang lebih baik, seperti photodiode atau phototransistor, sehingga proses penerimaan data dapat berlangsung lebih optimal pada berbagai variasi jarak dan sudut. Selain itu, perbaikan pada desain fisik serta pengaturan posisi antara LED pengirim dan sensor penerima perlu diperhatikan guna memperluas area kerja sistem dan mengurangi ketergantungan pada posisi lurus antara kedua perangkat. Pengaruh gangguan

cahaya dari lingkungan sekitar juga dapat ditekan melalui penerapan filter optik, pelindung sensor, maupun teknik pemrosesan sinyal yang lebih adaptif agar sistem tetap bekerja stabil pada kondisi pencahayaan yang berbeda. Dari sisi perangkat lunak, pengembangan metode modulasi serta penambahan mekanisme deteksi dan koreksi kesalahan data diharapkan mampu meningkatkan keandalan dan akurasi transmisi. Selain itu, pengujian lanjutan pada skenario penggunaan yang lebih luas serta integrasi dengan aplikasi berbasis web atau perangkat bergerak dapat dilakukan untuk memperluas pemanfaatan sistem Visible Light-ID sebagai solusi identifikasi berbasis cahaya yang praktis dan efisien.

REFERENSI

- [1] I. W. d. S. H. Retno Renggani Nugroho, "Perancangan dan Analisis Pengiriman Data Digital Berbasis VLC dengan LED dan Phototransistor Array," *Jurnal Edukasi Elektro (JEE)*, Universitas Negeri Yogyakarta (UNY), Vols. Vol. 2, No. 1, pp. 35-42, 2018.
- [2] D. Fadhlun, "Desain Sistem Komunikasi Cahaya Tampak Berbasis Mikrokontroler dan Laser," *Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya*, 2023.
- [3] E. W. d. A. P. Wibowo, "Analisis Rangkaian Visible Light Communication untuk Aplikasi Sistem Komunikasi," *Jurnal Ilmiah KOMPUTASI*, Vols. Vol. 18, No. 3, 2019.
- [4] D. D. d. K. W. N. Indah Ainunnisa Aulia, "Perancangan dan Implementasi Sistem Penerima Indoor Visible Light Communication Menggunakan Sel Surya dan Susunan Photodetektor," *eProceedings of Applied Science*, Vols. Vol. 5, No. 1, 2019.
- [5] S. S. d. I. K. Candra Irawan Martono, "Analisa Tekno Ekonomis Penerapan Sistem Penerangan Lampu Light Emitting Diode (LED) Pada Kapal Penangkapan Ikan," *Jurnal Teknik ITS*, Vols. Vol. 5, No. 2, 2016.
- [6] L. L. D. N. Adila Rani D, "Implementasi Visible Light Communication (VLC) pada Sistem Komunikasi," *ELKOMIKA Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika.*, pp. 14-15, 2013.
- [7] E. Teguh Hidayat Iskandar Alam, "Rancang Bangun Prototype Kapal Pendeteksi dan Pengambil Sampah Otomatis Berbasis Arduino Nano," *Jurnal Teknik Informasi dan Keamanan*, vol. Vol.4 No.2, 2018.
- [8] D. N. B. Mochamad Iqbal Ardimansyah, "Prototype Alat Sortir Bola Berdasarkan perbedaan Warna Menggunakan LED RGB dan LDR Berbasis Mikrokontroler".
- [9] H. K. Devan Cakra Mudra, "PEMANTAUAN PH BERBASIS NODEMCU32 TERINTEGRASI BOT," *JIP (Jurnal Informatika Polinema)*, pp. 2614-6371.

- [10] F. U. M. T. A. A. B. P. Kamal, "IMPLEMENTASI APLIKASI ARDUINO IDEPADA MATA KULIAH SISTEM DIGITAL," *Jurnal Pendidikan dan Teknologi*, Vols. Volume 1, Nomor 1, 2023.
- [11] F. P. N. S. Arisetiaji, "RANCANG BANGUN APLIKASI PEMESANAN DESAIN JERSEY BERBASIS ANDROID DENGAN MENGGUNAKAN TEKNOLOGI FIREBASE," *Jurnal Sistem Informasi dan Sains Teknologi*, vol. Vol.2 No.2, 2020.
- [12] R. M. Salsabila Alnitri Arrahma, "Pengujian ESP32-Cam Berbasis Mikrokontroler ESP32," *Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, Vols. Vol.4, No.1, pp. 60- 66, 2023.
- [13] I. S. A. R. A. P. D. D. Arnez Pramesti Ardi, "VLC-Based Car-to-Car Communication," *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi (JET)*, Vols. Vol. 20, No. 1, 2020.
- [14] D. D. S. A. Didin Yulian, "PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI PERANGKAT VISIBLE LIGHT COMMUNICATION SEBAGAI TRANSCEIVER VIDEO," *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi (JET)*, 2015.
- [15] D. D. S. M. A. H. S. M. Eka Bayu Perwita, "IMPLEMENTASI PERANGKAT OTOMASI RUMAH BERBASIS VLC PADA SISI PENERIMA (PERANCANGAN PINTU GARASI OTOMATIS)," *e-Proceeding of Applied Science*, Vols. Vol.4, No.3, 2018.
- [16] W. A. C. D. D. a. Y. H. C. Arsyad Ramadhan Darlis, "Underwater Visible Light Communication using," 2016.
- [17] D. D. H. Febry Bayu Aska, "IMPLEMENTASI VISIBLE LIGHT COMMUNICATION UNTUK PENGIRIMAN DATA DIGITAL," *eProceeding Applied Science*, vol. Vol. 1, pp. 896-905, 2015.
- [18] R. A. P. D. D. Muhammad Izzan Abdillah, "Distance measurement implementation for VLC-based V2V communication on motorbike platooning," *TEST Engineering & Measurement*, vol. Vol.83, pp. 7929 - 7933, 2020.
- [19] H. P. Denny Darlis, "Implementasi visible light communication (vlc) untuk pengiriman teks," *OSF*, 2017.
- [20] R. P. K. J. Denny Darlis, "Implementation of vehicular-visible light communication for motorcycle platooning," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. Vol.1098, no. 032023, p. 3, 20