

RANCANGAN SISTEM KOMUNIKASI KAMERA OPTIK BERBASIS DEEP LEARNING DENGAN MODULASI OOK UNTUK INFORMASI DAN KEAMANAN DATA DI BANDARA INTERNASIONAL KUALANAMU

Seven Oktavia Sanjerico Br Sitanggang¹, Ayub Wimatra², Suherman³
sevenoktaviani@gmail.com¹, ayub83wimatra@gmail.com², suherman15051996@gmail.com³
Politeknik Penerbangan Medan

ABSTRAK

Sistem komunikasi kamera optik berbasis deep learning dengan modulasi On-Off Keying (OOK) dirancang untuk meningkatkan informasi dan keamanan data di Bandara Internasional Kualanamu. Perancangan ini bekerja pada 2 sisi yaitu transmitter yang menggunakan LED, software Arduino sebagai pemancar informasi sedangkan receiver menggunakan kamera dan software Python sebagai penerima informasi yang akan diproses melalui codingan tersebut. Data yang diproses oleh kedua codingan akan tersimpan ke dalam file yang ada di laptop tersebut. Rancangan ini berhasil terintegrasi pada saat melakukan pengujian pada jarak yang berbeda dalam variasi siang dan malam. Pada jarak dekat mulai 1-3 Meter deteksi LED sangat baik di kedua kondisi pencahayaan (siang dan malam) dengan kondisi kamera dan LED yang memadai, kemudian pada jarak menengah 4-6 Meter deteksi LED masih dapat dilakukan dengan baik pada malam hari, tetapi mungkin memerlukan penyesuaian pada siang hari untuk mengatasi pencahayaan latar belakang. Selanjutnya pada jarak jauh 7-10 Meter lebih baik di malam hari dikarenakan pada siang hari hasil dari deteksi bisa menjadi kurang efektif tanpa penyesuaian pada LED dan Kamera. Maka dari itu deteksi LED oleh kamera optik lebih efektif di malam hari dibandingkan pada siang hari, terutama pada jarak yang lebih jauh. Hasil pengujian menunjukkan penyesuaian pada intensitas LED, pengaturan kamera dan pemrosesan gambar sangat penting untuk memastikan deteksi yang akurat dalam perbedaan pencahayaan dan jarak yang bertujuan agar dapat di implementasikan di Bandara Internasional Kualanamu untuk memberikan kontribusi signifikan terhadap pengelolaan informasi dan keselamatan penerbangan.

Kata Kunci: Pendidikan AUD, Pembelajaran PAUD, Media Kartu kata bergambar, Kemampuan membaca permulaan.

ABSTRACT

A deep learning-based optical camera communication system with On-Off Keying (OOK) modulation is designed to improve information and data security at Kualanamu International Airport. This design works on 2 sides, namely the transmitter which uses LEDs, Arduino software as the information transmitter while the receiver uses a camera and Python software as the information receiver which will be processed through the coding. The data processed by the two codes will be saved in a file on the laptop. The research design used in Design & Development (DND) research is the Planning, Production and Evaluation (PPE) model with an input-process-output pattern as the stages of identifying, searching for and presenting results. This design was successfully integrated when testing at different distances during day and night variations. At short distances starting from 1-3 meters, LED detection is very good in both lighting conditions (day and night) with adequate camera and LED conditions, then at medium distances of 4-6 meters, LED detection can still be done well at night, but perhaps requires adjustments during the day to overcome background lighting. Furthermore, at a distance of 7-10 meters, it is better at night because during the day the detection results can be less effective without adjustments to the LED and camera. Therefore, LED detection by optical cameras is more effective at night than during the day, especially at longer distances. Keyword : Transmitter (LED), Receiver (Camera), Software. The test results show thap adjustments to LED intensity, camera settings and image processing are essential to ensure accurate detection of differences in lighting and distance which aims to be implemented at Kualanamu Internasional Airport to make a significant contribution to information

management and aviation safety.

Keywords : *Transmitter (LED), Receiver (Camera), Software*

PENDAHULUAN

Pada teknologi optik dalam sistem komunikasi nirkabel terdapat Optical Wireless Communication (OWC) . OWC mendukung sistem komunikasi berkecepatan tinggi, salah satu pengembangan teknologi OWC adalah Visible Light Communication (VLC). Teknologi VLC menggunakan cahaya sebagai sinyal pembawa dengan kecepatan tinggi telah menjadi teknologi yang paling digunakan saat ini sama halnya dengan OCC (Optical Camera Communication) atau komunikasi kamera optik merupakan dioda pemancar cahaya (LED) sebagai pengirim data atau pemancar (TX), sensor gambar (IS) (yaitu kamera) sebagai penerima (Rx), dan cahaya sebagai pembawa komunikasi sinyal. Pendekatan ini memiliki beberapa atribut berharga, termasuk biaya rendah, keamanan tinggi, konsumsi daya rendah, dan keandalan yang ditingkatkan. Yang penting, teknologi ini bebas dari interferensi elektromagnetik, sehingga menjamin keamanan penuh bagi kesehatan manusia dan telah membuka jalan bagi penerapan OCC yang inovatif dan berfungsi sebagai landasan bagi pengembangan OWC.(Dan 25, 2020).

Dalam modul pemancar, data dapat dimodulasi menggunakan teknik modulasi yang berbeda, seperti on-off keying (OOK) yang termasuk kedalam bagian dari ASK dan merupakan modulasi paling sederhana. OOK dinyatakan dengan bit data 1 dan 0 jika bit data bernilai 1 memiliki pulsa optik pada suatu interval, atau bisa dinyatakan bahwa sumber cahaya “on”, sedangkan jika bit data bernilai 0 melambangkan tidak adanya pulsa optik pada suatu interval atau sumber cahaya yang dinyatakan “off”. Secara garis besar skema OOK dapat dianalogikan seperti saklar yang memiliki kondisi “on” dan “off. Perancangan sistem OCC ini akan diimplementasikan di Bandara Internasional Kualanamu untuk sarana dalam penyampaian informasi dimana rancangan sistem ini memiliki transmitter yang menggunakan LED sebagai media untuk mentransmisikan data, dan kamera sebagai perangkat input real-time menggunakan bahasa pemrograman Python dengan library OpenCV untuk melakukan pemrosesan mengambil data informasi dari kedipan cahaya LED. (Maulana et al., 2019)

Kemudian dalam perancangan ini diterapkan yang namanya deep learning saat ini telah merambah ke berbagai bidang, tidak hanya terbatas pada dunia pendidikan yang berfokus bidang komputer itu sendiri, tetapi juga telah mengintegrasikan teknologi di berbagai bidang lain, seperti penginderaan jauh bahkan ke dunia medis. Dalam konteks ini, deep learning digunakan untuk deteksi dan klasifikasi objek. Meskipun penerapan deep learning telah membawa kemajuan besar deteksi objek masih merupakan tantangan yang belum sepenuhnya terselesaikan. Kendala seperti perbedaan kondisi pencahayaan, sudut pandang, dan variasi objek membuat deteksi objek dengan tingkat keakuratan tinggi menjadi sulit. (Herimanto, 2023).

Rancangan sistem komunikasi kamera optik ini dapat berfungsi sebagai sistem cadangan yang andal untuk crash bell di bandara. Dengan menggunakan teknologi optik dan modulasi OOK, sistem ini mampu mengirimkan sinyal peringatan dengan cepat dan tepat dalam situasi darurat, seperti kegagalan atau kerusakan pada sistem crash bell utama. Jika adanya gangguan listrik atau kegagalan sistem kelistrikan yang dapat mengganggu operasi crash bell dan membuat tidak berfungsi serta menghambat kemampuan untuk memberikan peringatan darurat maka diperlukan adanya rancangan alat ini untuk mencegah terjadinya hal tersebut seperti kecelakaan pesawat atau kejadian yang memerlukan evakuasi cepat dan tindakan segera. Di Bandara Internasional Kualanamu, seperti halnya di bandara lain, crash bell memainkan peran penting dalam sistem keselamatan dan keamanan. Sistem ini

memungkinkan respons cepat dan terkoordinasi dari tim darurat untuk mengatasi insiden dengan efisien, sehingga dapat meminimalkan resiko dan dampak dari situasi darurat tersebut.

LANDASAN TEORI

Teori Penunjang

1. Sistem Komunikasi Optik

Sistem Komunikasi Optik adalah seperangkat komponen yang saling terintegrasi dalam mengirimkan informasi dengan menggunakan cahaya sebagai media transmisi informasi yang akan dikirim. Pada sistem komunikasi optik, terdapat dua jenis media transmisi yang digunakan yaitu guide dan Yang mana sistem komunikasi optik guided yaitu fiber optic, kabel coaxial, kabel twisted pair. Sedangkan contoh sistem komunikasi optik unguided yaitu komunikasi nirkabel optik yang dimana telah mendapatkan perhatian yang signifikan sebagai solusi potensial karena kelebihanannya, termasuk transmisi berkecepatan tinggi, tingkat keamanan yang tinggi, konsumsi energi yang rendah, dan ketahanan yang tinggi terhadap interferensi elektromagnetik. Lifi, OCC, VLC (visible light communication), dan FSO (free fresh optis) dianggap teknologi OWC yang paling menjanjikan. Masing- masing teknologi ini menunjukkan struktur protokol komunikasi, media propagasi, dan skenario aplikasi yang berbeda (Syafira et al., 2019).

Komunikasi kamera optik memiliki persamaan dengan komunikasi nirkabel optik yang menggunakan kamera ESP32-Cam dilakukan untuk memastikan kamera dapat menampilkan gambar atau video dengan benar dan juga sebagai pelengkap sebagai penerima optik (Rx) untuk mendeteksi sinyal dalam cahaya tampak (VL) atau radiasi inframerah (IR). Di OCC, data dikodekan menjadi sinyal cahaya termodulasi frekuensi yang tidak terlihat. Kamera CMOS pada perangkat penerima menangkap dan menerjemahkan sinyal cahaya menjadi data yang ramah komunikasi. Dengan menggunakan cahaya sebagai media komunikasi, OCC menawarkan keuntungan dalam hal keamanan data dengan risiko serangan siber dan kebocoran informasi yang minimal. (Simanullang et al., 2021)

2. Transmitter in OCC

Sebagai bagian dari optical wireless communication, sistem komunikasi kamera optik biasanya menggunakan sinyal lampu strobo frekuensi tinggi dari perlengkapan pencahayaan harian untuk mengirimkan data yang tidak dapat dilihat dengan mata telanjang. Saat ini, perlengkapan penerangan yang paling umum digunakan adalah lampu LED, lampu neon, dan lampu pijar. Di berbagai perlengkapan pencahayaan, infrastruktur pencahayaan berbasis LED banyak digunakan karena efisiensi energinya yang tinggi, ukurannya yang kecil, dan umur yang panjang. Promosi skala besar dan popularitas LED memberikan landasan aplikasi praktis untuk pengembangan sistem OCC. Selain itu karakteristik parlihan ON/OFF yang cepat juga menjadikan LED pilihan utama untuk pemancar dalam sistem OCC. Dalam hal ini, sistem OCC dapat mengirimkan sinyal secara langsung menggunakan sumber cahaya LED komersial, sehingga secara signifikan mengurangi biaya implementasi dan pemasangan. Mengingat cahaya putih lebih cocok untuk kebutuhan penerangan sehari-hari masyarakat, maka sistem OCC biasanya mengadopsi LED putih sebagai pemancarnya. (Syafira et al., 2019)

3. Receiver in OCC

Tidak seperti sistem VLC berbasis PD konvensional, sistem OCC menggunakan kamera komersial berbasis sensor gambar sebagai detektor untuk menerima data, di mana struktur kamera pada umumnya terdiri dari lensa pencitraan, sensor gambar, dan sirkuit pembacaan. Diantaranya, lensa pencitraan merupakan perangkat optik canggih dan digunakan untuk memfokuskan gambar suatu objek ke sensor gambar. Sensor gambar

adalah rangkaian fotodetektor dua dimensi yang digunakan untuk menerima informasi dan kemudian membentuk gambar pada tampilan. Oleh karena itu, sensor gambar mampu mengklasifikasikan beberapa sumber cahaya yang terpisah secara spasial dengan resolusi tinggi. Selain itu, ia memiliki filter warna yang secara mandiri menyinari berbagai warna, sehingga dapat bertindak sebagai penerima multiwarna alami. Sensor CMOS sebaliknya menggunakan transistor internal untuk memperkuat muatan, sehingga mengurangi konsumsi daya dan umumnya sensor CMOS ini dikatakan lebih murah

karena memerlukan proses produksi yang tidak terlalu rumit. Sensor CMOS ini hanya merekam informasi yang dikirimkan pada saat tertentu oleh pemancar dan mengumpulkan semua cahaya secara bersamaan, fotodiode secara berurutan memindai (kolom demi kolom atau baris demi baris) piksel menggunakan sensor gambar CMOS untuk menghasilkan gambar sehingga memiliki keuntungan bagi OCC, karena beberapa status ON/OFF dari sumber cahaya juga ditangkap dalam gambar untuk mewakili bit biner “0” atau “1”. (Syafira et al., 2019)

4. Modulasi On – Off Keying (OOK)

Dalam modul pemancar, data dapat dimodulasi menggunakan teknik modulasi yang berbeda, seperti on-off keying (OOK). Menggunakan modulasi on-off keying (OOK), dimana “1 s” dan “0 s” diwakili oleh status “on” dan “off” pada LED, memungkinkan komunikasi data yang efisien ke penerima. Dalam sistem komunikasi kamera optik dimana rangkaian LED berfungsi sebagai pemancar, secara independen mentransmisikan satu bit data. Pendekatan ini mengoptimalkan efisiensi keseluruhan dan keluaran data sistem, menyoroti potensi komunikasi yang kuat dan berkapasitas tinggi. Dalam beberapa sumber cahaya yang terpisah secara spasial dengan resolusi tinggi. (L. A. Ferreira, 2020)

On-off keying (OOK) memiliki arsitektur yang sangat sederhana, yang membuatnya mudah diimplementasikan dalam perangkat keras dan perangkat lunak. Kesederhanaan ini menghasilkan sistem yang murah dan efisien, baik dari segi biaya maupun konsumsi daya, menjadikannya pilihan yang menarik untuk aplikasi dimana sumber daya terbatas. OOK dikenal karena efisiensi energinya yang tinggi, terutama karena data hanya diperlukan saat mengirimkan data biner “1”. Ini menjadikannya pilihan yang tepat untuk aplikasi yang membutuhkan komunikasi hemat daya, seperti perangkat nirkabel atau sistem komunikasi optik.

Teori Perangkat Keras

Pada perancangan perangkat keras meliputi beberapa aspek teknis yang melibatkan pemilihan modul, perencanaan desain, serta implementasi dan pengujian alat. Berikut perangkat keras yang digunakan dalam perancangan sistem komunikasi kamera optik adalah sebagai berikut:

1. Perangkat Komputer/Laptop

Laptop digunakan sebagai platform utama untuk menulis menguji, dan mengunggah kode ke papan Arduino. Salah satu fungsi laptop dalam konteks pemrograman Arduino yaitu menulis kode, mengunggah kode, pemantauan, dan penyimpanan data ke dalam Ram Arduino.

Gambar 1 Perangkat Laptop



Sumber : (F Arifani, 2022)

2. Arduino Uno

Selain perangkat keras, Arduino Uno R3 mikrokontroler yang berbasis chip Atmega328P yang juga mengembangkan software untuk pemrograman. Bahasa pemrograman tersebut berbasis C/C++ yang dikemas dalam sebuah software bernama Arduino IDE. Software ini diinstal di dalam komputer terlebih dahulu agar Arduino dapat dikenali. Bahasa pemrograman Arduino menggunakan dengan bahasa yang berlevel tinggi dan memiliki struktur yang jelas sehingga bisa dibaca dan mudah dimengerti oleh manusia. Sejak itu, microcontroller lebih terbuka bagi banyak kalangan, terutama dari pelajar dan penghobi karena harga hardware yang lebih terjangkau dari pelajar dan bahasa pemrograman yang lebih sederhana dibandingkan era sebelumnya. Setelah program ditulis dalam Arduino IDE, proses transfer program ke chip AVR di Arduino dilakukan mekanisme compiling program. Arduino dipasangkan shield perlu ditambahkan agar Arduino dapat terhubung dengan network berbasis kabel (LAN) maupun wireless (WLAN).

Gambar 2 Arduino Uno



Sumber : (Hadiyoso, S. (2020)

Dalam sistem ini penulis menggunakan salah satunya, yaitu Arduino Uno. Arduino Uno adalah papan mikrokontroler yang berbasis mikrokontroler ATmega328. Arduino Uno memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 1 Spesifikasi Arduino Uno

Chip Mikrokontroler	ATMega328
Tegangan Operasi	5V

Tegangan Input (Yang direkomendasikan)	7V - 12V
Batas Tegangan	6V – 20V
Digital I/O Pin	14 pin
Analog Input Pin	6 pin
Arus DC per pin I/O	40 mA
Memori Flash	32 kb
SRAM	2 kb
EEPROM	1 kb
Clock Speed	16Hz

3. Kabel USB Arduino Uno

Kabel USB ini adalah kabel yang disambungkan ke komputer atau laptop. Yang berfungsi untuk mengirim program ke arduino dan juga sebagai port komunikasi serial.

Gambar 3 Kabel USB Arduino Uno



Sumber : (Hadiyoso, S. (2020)

4. Kabel Jumper

Kabel jumper adalah kabel yang lazimnya digunakan sebagai penghubung antara Arduino Uno dengan board atau Arduino Uno dengan sensor yang akan digunakan. Kabel jumper menghantarkan listrik atau sinyal. Kabel jumper menghantarkan listrik atau sinyal melalui logam di dalamnya yang bersifat konduktor. Ada tiga jenis kabel jumper yang dapat dilihat dari ujungnya, yaitu:

- Male-Male
- Male-Female
- Female-Female

Gambar 4 Kabel Jumper



Sumber : (Hadiyoso, S. (2020)

5. PCB Beard board

PCB adalah papan sirkuit cetak yang digunakan untuk merancang dan memproduksi sirkuit elektronik secara permanen. Komponen-komponen elektronik dipasang dengan ke PCB dan dapat juga menggunakan kabel penghubung (jumper wires), sehingga sirkuit menjadi stabil dan dapat diandalkan untuk penggunaan jangka panjang.

Gambar 5 PCB Breadboard



Sumber : (Asri Dewi Mustikasari, S.2023)

6. Webcam Full HD

Webcam adalah periferal berupa kamera sebagai pengambil citra atau gambar yang dikendalikan oleh sebuah komputer atau sebuah jaringan. Webcam digunakan untuk menampilkan sebuah kondisi dari LED yang mana akan ditampilkan secara nyata pada layar komputer /laptop yang ditujukan pada gambar 2.6.

Gambar 6 Webcam Full HD



Sumber : (Sulaiman, M. A.2023)

7. LED matrix 8x8

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan beberapa pemancar susunan LED untuk mensimulasikan sistem komunikasi tingkat lanjut. Setiap susunan LED berfungsi sebagai saluran untuk mengirimkan sinyal digital ke kamera penerima. Data dikodekan dalam angka biner 1 atau 0 yang merupakan praktik umum dalam pemrosesan sinyal digital (DSP) yang mudah diinterpretasikan oleh komputer. Menggunakan modulasi on-off keying (OOK) dimana 1 atau 0 diwakili oleh status “on” dan “off” pada LED yang ditujukan pada gambar 2.7

Gambar 7 LED matrix 8x8



Sumber : (Hadiyoso, S. (2020)

Teori Perangkat Lunak

1. Software Arduino IDE 1.8.3

Arduino IDE ini dikembangkan dari software processing yang dirombak menjadi Arduino IDE khusus untuk pemrograman dengan Arduino, IDE itu merupakan kependekan dari Integrated Development Environment, atau secara bahasa mudahnya merupakan lingkungan terintegrasi yang digunakan untuk melakukan pengembangan. Bahasa pemrograman Arduino (sketch) sudah dilakukan perubahan untuk memudahkan pemula dalam melakukan pemrograman dari Bahasa aslinya. Arduino IDE dibuat dari bahasa pemrograman JAVA. Arduino IDE juga dilengkapi dengan library C/C++ yang biasa disebut wiring yang membuat operasi input dan output menjadi lebih mudah. (Suparyanto dan Rosad 2020).

Teori Perangkat Lunak

2. Software Arduino IDE 1.8.3

Arduino IDE ini dikembangkan dari software processing yang dirombak menjadi Arduino IDE khusus untuk pemrograman dengan Arduino, IDE itu merupakan kependekan dari Integrated Development Environment, atau secara bahasa mudahnya merupakan lingkungan terintegrasi yang digunakan untuk melakukan pengembangan. Bahasa pemrograman Arduino (sketch) sudah dilakukan perubahan untuk memudahkan pemula dalam melakukan pemrograman dari Bahasa aslinya. Arduino IDE dibuat dari bahasa pemrograman JAVA. Arduino IDE juga dilengkapi dengan library C/C++ yang biasa disebut wiring yang membuat operasi input dan output menjadi lebih mudah. (Suparyanto dan Rosad 2020).

3. Software Python v3.11.8

Python adalah bahasa pemrograman yang berdaya dan mudah dipelajari. Python memiliki struktur data tingkat tinggi yang efisien dan pendekatan yang sederhana namun efektif untuk pemrograman berorientasi objek. Sintaksis Python yang elegan dan tipe dinamis, Bersama dengan sifatnya yang diinterpretasikan, menjadikannya bahasa yang ideal untuk skrip dan pengembangan aplikasi yang cepat di banyak area di sebagian besar platform. Interpreter Python mudah dikembangkan dengan fungsi dan tipe data baru diimplementasikan dalam C atau C++ (atau bahasa lain yang bisa dipanggil dari C). Python juga cocok sebagai bahasa tambahan untuk aplikasi yang dapat disesuaikan.

Perangkat atau sirkuit yang mengubah sinyal digital menjadi sinyal analog. Sinyal digital terdiri dari serangkaian nilai diskrit, sedangkan sinyal analog adalah sinyal kontinu dalam hal amplitudo atau frekuensi. Pada setiap sensor yang berbasis mikrokontroler diperlukan adanya rangkaian DAC. (Pangerang, Naim, and Adnan 2019).

Kajian Penelitian Terdahulu yang Relevan

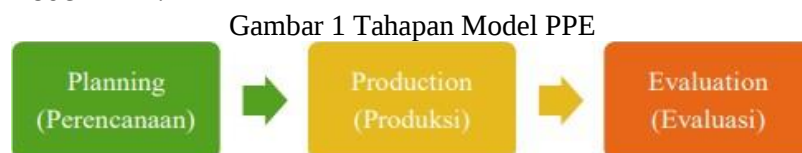
Tabel 2 Kajian Pustaka yang Relevan

No.	Jurnal Penelitian	Penulis	Persamaan	Perbedaan
1.	Perancangan Alat Bantu Pengujian Konektor Dan Adaptor Berbasis <i>Open Loop</i> Pada Komunikasi Optik Sumber : <i>file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/21101-Article%20Text-41927-1-10-20231030.pdf</i>	Mochamad Rullyansyach, Iswahyudi Hidayat	Didalam pengujiannya sama – sama menggunakan komponen sistem komunikasi optik	Teknik perancangan sistem komunikasinya menggunakan bahan adaptor (Rullyansyach et al., 2023)

2.	Impelementasi Virtual Laboratory Sistem Komunikasi Optik <i>Sumber :</i> https://journals.telkomuniversity.ac.id/jett/article/view/4114/1707	Jojo Simanullang	Sistem komunikasinya menggunakan FSO (<i>Free Space Optic</i>)	Teknik perancangan sistemnya menggunakan data udara (Fuada, 2022)
3.	Perencanaan Jaringan Komunikasi Serat Optik Di Pulau Madura Untuk Mendukung Pembelajaran Jarak Jauh <i>Sumber :</i> http://repository.unas.ac.id/2988/1/LAPORAN%20Perancangan%20jaringan%20komunikasi%20serat%20optik.pdf	Dr. Heni Jusuf, S.kom. M.Kom	Proses perancangan jaringan komunikasi berbasis serat optik yang jarak jauh	Pemancar optik merupakan sumber cahaya dalam sistem komunikasi serat optik untuk mengkonversi sinyal elektrik menjadi sinyal optik yang akan dilewatkan melalui serat optik. (Jaringan Komunikasi Serat Optik et al., 2021)

METODOLOGI

Desain penelitian yang digunakan dalam penelitian Design & Development (DND) dengan model Planning, Production and Evaluation (PPE) dengan pola input- process-output sebagai tahapan mengidentifikasi, mencari dan mengemukakan hasil. Terdapat tiga tahapan dalam model penelitian Planning, Production and evaluation (PPE) yakni Planning (perencanaan), Production (produksi) dan Evaluation (evaluasi). Tahap planning (perencanaan) terdiri dari kegiatan analisis permasalahan dan kebutuhan dalam penelitian kemudian merencanakan produk yang akan dikembangkan untuk menjadi solusi, dan merancang instrument untuk menilai produk. Dilanjutkan tahap production (produksi) yang terdiri dari kegiatan membuat produk dan mengujinya. (Somantri, 2021). Diakhiri dengan tahap evaluation (evaluasi) yang terdiri dari kegiatan memperbaiki atau merevisi produk berdasarkan hasil uji atau validasi ahli dan menghasilkan produk akhir atau final. Berikut tahapan pada model PPE :



Sumber : Penulis, 2024.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada BAB 4 ini, sistem komunikasi kamera optik berbasis deep learning dengan menggunakan modulasi OOK telah berhasil terintegrasi. Pengujian tahap demi tahap dilakukan dengan menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak serta melakukan

pengujian pada jarak dan cuaca yang berbeda. Adapun tahap – tahap dalam pengerjaan pengujian perancangan alat sebagai berikut ini, ialah :

1. Instalasi Perangkat Keras

Pada perancangan perangkat keras meliputi beberapa aspek teknis yang melibatkan pemilihan modul, perencanaan desain, serta implementasi dan pengujian alat. Tujuan utama dari perancangan ini adalah untuk memastikan bahwa semua perangkat keras dapat bekerja secara efisien dan terintegrasi dengan baik dalam rangkaian sistem yang lebih besar.

Tahap-tahap yang dilakukan dalam proses perancangan alat yaitu :

1. Rangkaian LED 8X8 Terhadap Arduino Uno R3

Pada tahap permulaan, penulis menyambungkan pin-pin dari modul matriks LED ke Arduino menggunakan kabel jumper bertujuan untuk memungkinkan komunikasi dan pengendalian antara Arduino dan Matriks LED. Kemudian dengan menghubungkan pin GND dari modul matriks LED ke pin GND pada Arduino bertujuan untuk melengkapi sirkuit listrik dan memastikan semua komponen memiliki referensi tegangan yang sama, yang penting untuk operasi yang stabil. Kemudian untuk DIN (Data In) ini menerima data serial dari Arduino. Menghubungkan pin DIN dari modul matriks LED ke pin data (MOSI) Arduino bertujuan untuk mengirimkan data bitstream yang menentukan keadaan (on/off) setiap LED dalam matriks, seperti pada tabel nomor 4.1 .

Tabel 1 Menyambungkan Pin Led dan Pin Arduino

PIN Modul LED (8X8)	Pin Arduino
5V	5V
GND	GND
DIN (data in)	Pin 10 (SS)

2. Rangkaian DHT Sensor Terhadap Arduino Uno R3

Menghubungkan sensor DHT (baik DHT11 atau DHT22) ke Arduino memungkinkan pembuatan sistem pemantauan dan kontrol lingkungan yang otomatis secara real-time, dan sangat berguna untuk proyek-proyek yang memerlukan pengukuran suhu dan kelembaban. Data yang dihasilkan dari sensor DHT dapat digunakan untuk membuat sistem otomatis yang meningkatkan kenyamanan dan efisiensi dalam berbagai situasi, yang terdapat pada tabel 4.2.

Tabel 2 Menyambungkan DHT Sensor dan Pin Arduino

PIN Modul DHT Sensor	Pin Arduino
DAT (data)	Pin 4
GND	GND
VCC	Papan Sirkuit Board

3. Rangkaian Vibration Sensor Terhadap Arduino Uno R3

Menghubungkan sensor getaran (vibration sensor) ke Arduino adalah proyek sederhana yang dapat digunakan untuk mendeteksi getaran atau gerakan dalam suatu objek. Ada berbagai jenis sensor getaran, tetapi salah satu yang paling umum digunakan adalah sensor getaran. Data dari sensor getaran dapat digunakan untuk berbagai aplikasi seperti sistem alarm, pemantauan getaran mesin, dan proyek lainnya yang terdapat pada tabel 4.3.

Tabel 3 Menyambungkan Vibration Sensor dan Pin Arduino

PIN Vibration Sensor	Pin Arduino
SIG (signal)	Pin 6
GND	GND
VCC	Papan Sirkuit Board

Hasil perancangan perangkat lunak (software) untuk Arduino melibatkan beberapa elemen penting yang menjelaskan bagaimana perangkat keras (seperti LED) dikendalikan melalui kode. Berikut adalah penjelasan lengkap tentang hasil perancangan perangkat lunak Arduino, mencakup dari konsep dasar hingga implementasi praktis. Tujuan utama dari perangkat lunak Arduino adalah untuk mengendalikan perangkat keras dengan efisien dan akurat. Dalam konteks LED, ini berarti merancang kode yang dapat menghidupkan, mematikan, dan mengirimkan informasi melalui teks atau memodulasi LED berdasarkan kebutuhan.

Program ini menggunakan Arduino untuk mengontrol LED dengan mengatur pin digital sebagai output dan memberikan sinyal high atau low untuk menyalakan atau mematikan LED. Dengan menggunakan delay, LED akan menyala dan mati secara berkala. Berikut tampilan kode arduino dibawah ini :



The screenshot shows the Arduino IDE interface. The top toolbar includes icons for File, Edit, Sketch, Tools, Help, and a Run button. The main text area contains the following code:

```

// Mendeklarasikan pin LED
int ledPin = 13; // Pin 13 pada papan Arduino

void setup() {
  // Mengatur pin LED sebagai output
  pinMode(ledPin, OUTPUT); // OUTPUT berarti LED akan digunakan sebagai output
}

void loop() {
  // Menyalakan LED
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // HIGH berarti memberikan tegangan pada pin, sehingga LED menyala
  delay(1000); // Menunggu selama 1 detik (1000 milidetik)

  // Mematikan LED
  digitalWrite(ledPin, LOW); // LOW berarti tidak memberikan tegangan pada pin, sehingga LED mati
  delay(1000); // Menunggu selama 1 detik (1000 milidetik)
}

```

Untuk mengirimkan informasi atau teks dari Arduino dan kemudian memancarkannya melalui LED sebagai cahaya, Anda bisa menggunakan teknik modifikasi sinyal yang dikenal sebagai komunikasi optik atau transmisi data melalui cahaya. Ini melibatkan mengubah data menjadi sinyal digital yang bisa dikirimkan melalui LED dan kemudian diterima oleh sensor atau kamera. Berikut tampilan port arduino dibawah ini :

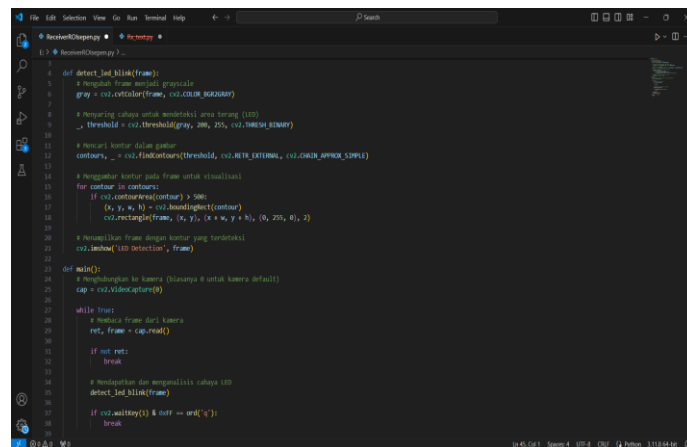
[illegible]

Hasil perancangan perangkat lunak (software) dengan Python melibatkan penulisan kode yang dirancang untuk melakukan tugas tertentu dengan efisien. Dalam konteks komunikasi serial atau pengendalian perangkat, Python sering digunakan untuk berinteraksi dengan perangkat keras seperti Arduino. Berikut adalah penjelasan lengkap tentang hasil perancangan perangkat lunak Python melalui codingan. Tujuan perancangan perangkat lunak Python untuk menangkap informasi dari kedipan cahaya LED melibatkan beberapa

langkah dan tujuan utama. Proses ini biasanya melibatkan menggunakan kamera atau sensor cahaya untuk menangkap sinyal cahaya yang dipancarkan oleh LED dan kemudian menganalisis atau memproses informasi tersebut menggunakan Python. Berikut adalah penjelasan lengkap mengenai tujuan dan pendekatan perancangan perangkat lunak Python untuk menangkap informasi dari kedipan cahaya LED :

1) Kode Python untuk menangkap dan menganalisis Cahaya LED

Tujuan perancangan perangkat lunak Python untuk menangkap informasi dari kedipan cahaya LED adalah untuk mendeteksi dan menganalisis sinyal cahaya yang dipancarkan oleh LED. Ini melibatkan penggunaan perangkat keras seperti kamera atau sensor cahaya, serta perangkat lunak untuk memproses dan menganalisis data yang diterima. Dengan menggunakan library seperti OpenCV untuk pemrosesan gambar dan analisis data akan mendapatkan informasi dari cahaya LED dan membuat respons yang sesuai berdasarkan data tersebut.



```

1 def detect_led_blink(frame):
2     # Mengubah frame menjadi grayscale
3     gray = cv.cvtColor(frame, cv.COLOR_BGR2GRAY)
4
5     # Menetapkan cahaya untuk mendeteksi area terang (LED)
6     threshold = cv.threshold(gray, 200, 255, cv.THRESH_BINARY)
7
8     # Menemukan kontur dalam gambar
9     contours, _ = cv.findContours(threshold, cv.RETR_EXTERNAL, cv.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
10
11     # Menggambar kontur pada frame untuk visualisasi
12     for contour in contours:
13         if cv.contourArea(contour) > 500:
14             (x, y, w, h) = cv.boundingRect(contour)
15             cv.rectangle(frame, (x, y), (x + w, y + h), (0, 255, 0), 2)
16
17     # Mengembalikan frame dengan kontur yang terdeteksi
18     cv.imshow('LED Detection', frame)
19
20 def main():
21     # Menyiapkan ke kamera (biasanya 0 untuk kamera default)
22     cap = cv.VideoCapture(0)
23
24     while True:
25         # Membaca frame dari kamera
26         ret, frame = cap.read()
27
28         if not ret:
29             break
30
31         # Menangkap dan menganalisis cahaya LED
32         detect_led_blink(frame)
33
34         if cv.waitKey(1) & not == ord('q'):
35             pass

```

2) Bentuk LED yang ditangkap oleh kamera secara real-time

Dapat menangkap gambar dari kamera, mendeteksi cahaya LED dalam gambar tersebut, dan menampilkan hasil gambar yang telah diproses. Proses ini melibatkan konversi gambar menjadi grayscale, penerapan thresholding untuk deteksi cahaya, dan menggambar kontur untuk visualisasi. Menampilkan gambar yang ditangkap dan diproses memungkinkan Anda untuk memantau dan menganalisis cahaya LED secara real-time.

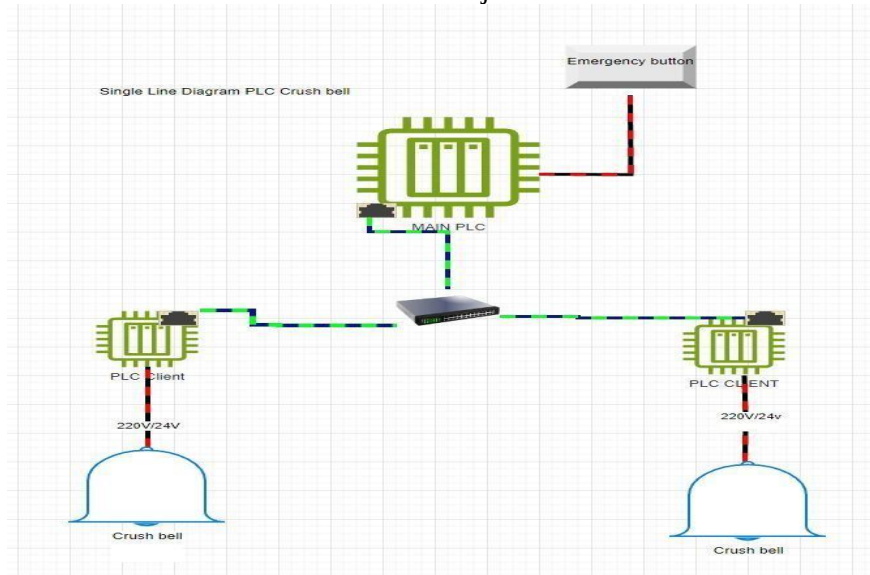


3) Bentuk “Text Print” untuk mengirimkan informasi melalui teks

Penggunaan text print dalam kode Python memberikan cara sederhana namun efektif untuk mendapatkan umpan balik langsung tentang operasi yang sedang dilakukan, seperti status LED dan hasil deteksi gambar. Ini membantu dalam memahami bagaimana kode berfungsi untuk mengirimkan informasi berbentuk teks.

- memperingatkan mereka tentang situasi darurat yang sedang terjadi.
3. Transmisi sinyal: Selain mengaktifkan alarm, sistem crash bell juga akan mengirimkan informasi dan pemberitahuan kepada kantor petugas keamanan darurat. Ini bisa dilakukan melalui sistem komunikasi internal bandara, seperti radio atau sistem pemberitahuan otomatis.
 4. Tindakan Tanggap Darurat: Setelah menerima pemberitahuan, petugas keamanan dan darurat di bandara segera merespon dengan mengirimkan tim .

Gambar 1 Cara Kerja Crash Bell



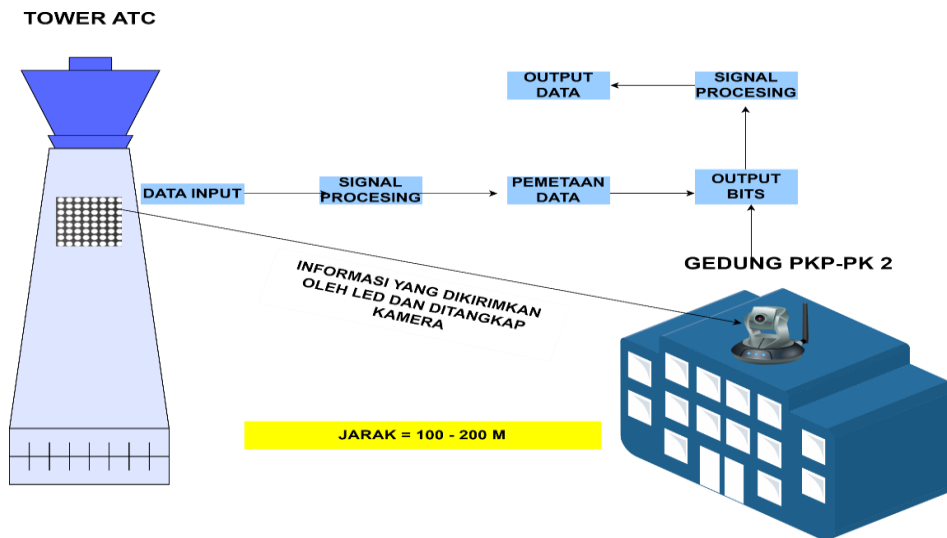
Sumber : Penulis , 2024

Gambar 2 Server Crash Bell



Sumber : Dokumentasi Penulis (2024)

Gambar 3 Ilustrasi Jarak Tower dengan PKP-PK 2



Sumber: Penulis, 2024

Gambar 4.4 Jarak Tower dengan PKP-PK 2



Sumber: Dokumentasi Penulis, 2024

2. Hasil Pengujian Alat

Pada BAB 4 dalam penelitian ini, sistem komunikasi kamera optik berbasis deep learning dengan menggunakan modulasi OOK telah berhasil terintegrasi dan diuji dengan baik. Penelitian dilakukan dengan menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak yang akan dijelaskan tahap demi tahap . Uji coba dilakukan dengan memberi jarak mulai dari 1 – 10 meter, kemudian hasil yang ditemukan adanya perbedaan pada jarak, semakin jauh jarak maka hasil semakin buram dan tidak baik, Selanjutnya melakukan pengujian terhadap siang dan malam, lebih efektif di malam hari dibandingkan pada siang hari, terutama pada jarak yang lebih jauh dikarenakan adanya pencahayaan dari matahari. Berikut tahap – tahap yang akan dilakukan dalam pengujian alat tersebut, ialah :

1) Pengujian Software Arduino

Pengujian software Arduino yang bertujuan untuk memastikan inputan yang dikirimkan sama dengan hasil melalui kedipan cahaya LED merupakan proses untuk memverifikasi bahwa sistem Arduino merespons input dengan benar. Berikut hasil pengujian pada software Arduino.

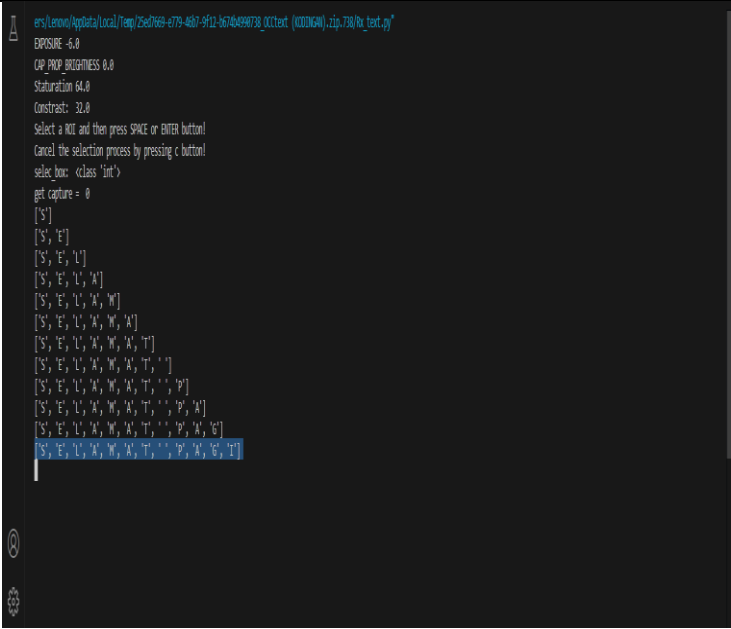
Tabel 4 Pengujian Software Arduino

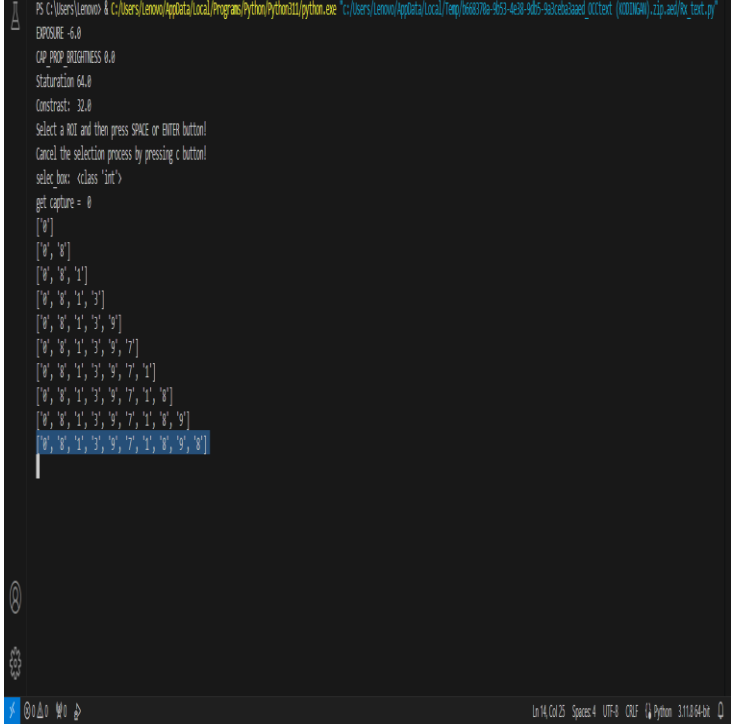
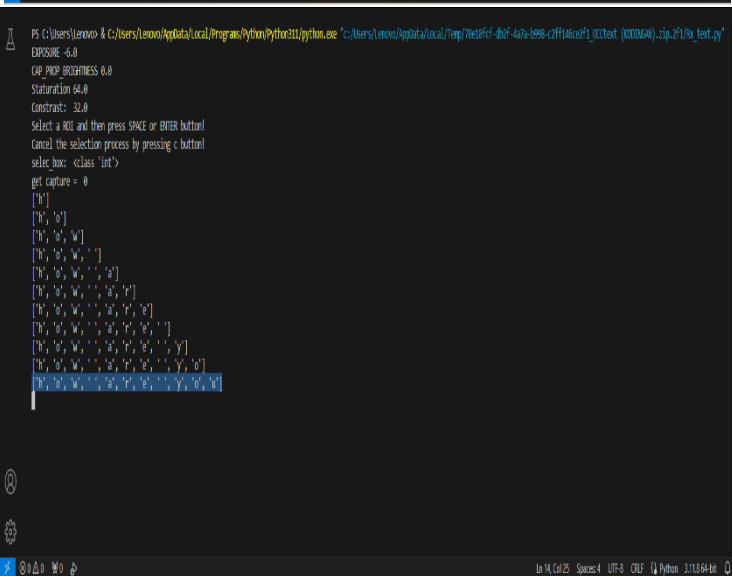
Input Data	Hasil Data
“Selamat Pagi”	Berhasil
“08139711898”	Berhasil
“How Are You”	Berhasil

2) Pengujian Software Python

Pengujian software Python yang bertujuan untuk memastikan inputan dari LED diterima oleh kamera dengan benar dan berhasil sama dan menangkap informasi dari kedipan cahaya LED kemudian diproses oleh codingan python Berikut hasil pengujian pada software python :

Tabel 5 Pengujian Software Python

Input Data	Hasil Data	Hasil Gambar
“Selamat Pagi”	Berhasil	 <pre> ers\Lenovo\AppData\Local\Temp\2ed2669-6779-4087-9f12-b6704949738_00\text (KODINGAN)\zip_730\hw_text.py" EXPOSURE: 6.0 CAP_PROP_BRIGHTNESS: 0.0 Saturation: 64.0 Contrast: 32.0 Select a ROI and then press SPACE or ENTER button! Cancel the selection process by pressing c button! select_box: <class 'int'> get_capture = 0 ['S'] ['S', 'E'] ['S', 'E', 'L'] ['S', 'E', 'L', 'A'] ['S', 'E', 'L', 'A', 'M'] ['S', 'E', 'L', 'A', 'M', 'A'] ['S', 'E', 'L', 'A', 'M', 'A', 'T'] ['S', 'E', 'L', 'A', 'M', 'A', 'T', 'P'] ['S', 'E', 'L', 'A', 'M', 'A', 'T', 'P', 'A'] ['S', 'E', 'L', 'A', 'M', 'A', 'T', 'P', 'A', 'G'] ['S', 'E', 'L', 'A', 'M', 'A', 'T', 'P', 'A', 'G', 'I'] </pre>

"081397118988"	Berhasil	 <pre> PS C:\Users\Lenovo & C:\Users\Lenovo\AppData\Local\Programs\Python\Python311\python.exe "C:\Users\Lenovo\AppData\Local\Temp\6666776e-9b51-4e3d-bd5f-9e3e3e3e3e3e\00000000.zip\2f179x_test.py" EXPOSURE - 6.0 CAP_PROP_BRIGHTNESS 0.0 Saturation 64.0 Contrast: 32.0 Select a ROI and then press SPACE or ENTER button! Cancel the selection process by pressing c button! select box: <class 'int'> get capture = 0 ['0'] ['0', '8'] ['0', '8', '1'] ['0', '8', '1', '3'] ['0', '8', '1', '3', '9'] ['0', '8', '1', '3', '9', '7'] ['0', '8', '1', '3', '9', '7', '1'] ['0', '8', '1', '3', '9', '7', '1', '1'] ['0', '8', '1', '3', '9', '7', '1', '1', '8'] ['0', '8', '1', '3', '9', '7', '1', '1', '8', '9'] ['0', '8', '1', '3', '9', '7', '1', '1', '8', '9', '8'] </pre>
"How Are You"	Berhasil	 <pre> PS C:\Users\Lenovo & C:\Users\Lenovo\AppData\Local\Programs\Python\Python311\python.exe "C:\Users\Lenovo\AppData\Local\Temp\6666776e-9b51-4e3d-bd5f-9e3e3e3e3e3e\00000000.zip\2f179x_test.py" EXPOSURE - 6.0 CAP_PROP_BRIGHTNESS 0.0 Saturation 64.0 Contrast: 32.0 Select a ROI and then press SPACE or ENTER button! Cancel the selection process by pressing c button! select box: <class 'int'> get capture = 0 ['H'] ['H', 'o'] ['H', 'o', 'w'] ['H', 'o', 'w', ' '] ['H', 'o', 'w', ' ', 'A'] ['H', 'o', 'w', ' ', 'A', 'r'] ['H', 'o', 'w', ' ', 'A', 'r', 'e'] ['H', 'o', 'w', ' ', 'A', 'r', 'e', ' '] ['H', 'o', 'w', ' ', 'A', 'r', 'e', ' ', 'Y'] ['H', 'o', 'w', ' ', 'A', 'r', 'e', ' ', 'Y', 'o'] ['H', 'o', 'w', ' ', 'A', 'r', 'e', ' ', 'Y', 'o', 'u'] </pre>

3) Pengujian Jarak Bervariasi Siang Dan Malam

Pengujian jarak bervariasi siang dan malam yang bertujuan untuk memastikan mengetahui perbedaan pada saat pengujian yang dilakukan dan memastikan bahwa perangkat akan berfungsi secara efektif dan andal dalam berbagai situasi. Berikut hasil pengujian pada jarak bervariasi siang dan malam :

Tabel 6 Pengujian Jarak Bervariasi Siang Dan Malam

Jarak	Siang	Malam
-------	-------	-------

1) 1 – 3 Meter 	Pada jarak dekat ini, Led harus mudah dideteksi oleh kamera. Biasanya, kamera akan dapat mendeteksi LED dengan tingkat akurasi yang tinggi tetapi kualitas deteksi mungkin sedikit menurun. Ini tergantung pada kualitas kamera dan kekuatan LED.	Pada jarak ini, LED harus terlihat jelas dan deteksi oleh kamera harus sangat akurat. Intensitas cahaya LED biasanya cukup untuk dikenali oleh kamera yang memiliki pengaturan tepat untuk mendeteksi LED dengan baik.
2) 3 – 7 Meter 	Pada jarak ini, deteksi LED mungkin menjadi lebih sulit, terutama jika pencahayaan matahari sangat terang atau jika LED tidak cukup terang. Kamera dengan resolusi tinggi atau sensitivitas cahaya yang baik dapat membantu dalam kondisi ini.	Pada malam hari, LED harus cukup terang untuk terlihat jelas oleh kamera. Jika LED tidak cukup terang, mungkin akan sulit dideteksi pada jarak ini dan hasilnya ketika di deteksi data yang diterima sedikit buram .
3) 7 – 10 Meter 	Pada jarak ini. deteksi LED bisa sangat menantang jika LED tidak cukup terang atau jika kamera tidak memiliki resolusi tinggi. Led mungkin sulit terlihat dengan jelas karena cahaya latar belakang dari matahari.	Pada jarak ini, Led seharusnya terlihat jelas jika LED cukup terang dan kamera memiliki resolusi tinggi serta sensitivitas yang memadai untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan dari hasil rancangan “Rancangan Sistem Komunikasi Kamera Optik Berbasis Deep Learning Dengan Menggunakan Modulasi OOK Untuk Informasi dan Keamanan Data Di Bandara Internasional Kualanamu” maka penulis dapat menyimpulkan beberapa poin di bawah ini :

1. Rancangan Sistem Komunikasi Kamera Optik Berbasis Deep Learning Dengan Menggunakan Modulasi OOK di design sesuai dengan kebutuhan pada perangkat tersebut. Dengan menggunakan perancangan komunikasi kamera optik / optical

camera communication (OCC) yang bekerja pada 2 sisi yaitu transmitter dan receiver. Kemudian pada rancangan ini menggunakan LED, software arduino sebagai pemancar informasi dan menggunakan kamera, software python sebagai penerima informasi yang akan diproses melalui codingan tersebut. Data yang diproses oleh codingan akan tersimpan langsung kedalam file yang ada di laptop tersebut.

2. Rancangan ini berhasil terintegrasi pada saat melakukan pengujian pada jarak yang berbeda dalam variasi siang dan malam. Pada jarak dekat, deteksi LED sangat baik di kedua kondisi pencahayaan (siang dan malam), dengan kondisi kamera dan LED yang memadai, kemudian pada jarak menengah, deteksi LED masih dapat dilakukan dengan baik di malam hari, tetapi mungkin memerlukan penyesuaian pada siang hari untuk mengatasi pencahayaan latar belakang. Selanjutnya pada jarak jauh, deteksi LED pada jarak 8 – 10 meter lebih baik di malam hari dikarenakan pada siang hari hasil dari deteksi bisa menjadi kurang efektif tanpa penyesuaian pada LED dan Kamera. Maka dari itu deteksi LED oleh kamera optik lebih efektif di malam hari dibandingkan pada siang hari, terutama pada jarak yang lebih jauh. Penyesuaian pada intensitas LED, pengaturan kamera, dan pemrosesan gambar sangat penting untuk memastikan deteksi yang akurat dalam perbedaan pencahayaan dan jarak.

Saran

Dari pengujian “Rancangan Sistem Komunikasi Kamera Optik Berbasis Deep Learning Dengan Menggunakan Modulasi OOK Untuk Informasi dan Keamanan Data Di Bandara Internasional Kualanamu” penulis mempunyai beberapa saran untuk pengembangan rancangan tersebut, yaitu sebagai berikut :

1. Di masa depan, penelitian lebih lanjut tentang komunikasi kamera optik dapat mengeksplorasi pemanfaatan laser yang memancarkan cahaya untuk meningkatkan jarak transmisi dan menyelidiki skema modulasi baru untuk meningkatkan kecepatan data sistem ini. Kemudian pada model deteksi objek mengandalkan deteksi pemancar yang terlihat, mencegah modifikasi sewenang-wenang pada parameter kamera, oleh karena itu, diperlukan suatu metode dikembangkan untuk mengaktifkan komunikasi kamera optik tanpa mengubah parameter kameranya.
2. Menambahkan dashboard yang berfungsi seperti Content Management System (CMS) pengguna sistem komunikasi kamera optik dapat lebih mudah dalam mengatur dan mengelola perintah serta informasi yang ditransmisikan. Ini tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional tetapi juga memberikan fleksibilitas dan kontrol yang lebih besar bagi pengguna dalam mengoptimalkan kinerja sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- DARLIS, A. R., LIDYAWATI, L., & NATALIANA, D. (2017). Implementasi Visible Light Communication (VLC) Pada Sistem Komunikasi. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 1(1), 13. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v1i1.13>
- Fuada, S. (2018). Studi Awal Rancangan Bidirectional-Multiuser Pada Visible Light Communication Untuk Aplikasi Dalam Ruang (Indoor). *Jurnal Teknik Informatika*, 10(1), 27–36. <https://doi.org/10.15408/jti.v10i1.6813>
- Herimanto, H. (2023). Perbandingan Matriks Loss Pada Model Deep Learning Resnet50 dan Xception dalam Deteksi Objek. *Jurnal Media Informatika Budidarma*, 7(4), 1994–2002. <https://doi.org/10.30865/mib.v7i4.6849>
- Maulana, A. S., Elektro, F. T., Telkom, U., & Keying, O. (2019). Pengaruh Modulasi Ook Dan Qam

- Pada Komunikasi Cahaya Tampak Dengan Penambahan Reflektor Impact of Ook and Qam Modulation for Visible Ligth Communication With Addition of Reflectors. 6(2), 4298–4305.
- Maulana, Alfin Satya, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, and On-off Keying, ‘Pengaruh Modulasi Ook Dan Qam Pada Komunikasi Cahaya Tampak Dengan Penambahan Reflektor Impact of Ook and Qam Modulation for Visible Ligth Communication With Addition of Reflectors’, 6.2 (2019), pp. 4298–4305
- Muhammad, T., Handzalah, R., Darlis, D., & Saputri, D. M. (2019). Simulasi Komunikasi Cahaya Tampak Berbasis Pemultipleksan Pembagian Panjang Gelombang pada Jaringan Fiber to the Home Simulasi Komunikasi Cahaya Tampak Berbasis Pemultipleksan Pembagian Panjang Gelombang pada Jaringan Fiber to the Home. SENIATI ITENAS Malang, April, 388–393.
- Rullyansyach, M., Hidayat, I., & Permadi, A. (2023). Perancangan Alat Bantu Pengujian Konektor Dan Adaptor Berbasis Open Loop Pada Komunikasi Optik Design of Connector and Adaptor Testing Tools Based on Open Loop in Optical Communication. 10(5), 4088.
- Purba, R. F., & Roza, I. (2022). Rancang Bangun Sistem Handsanitizer Dan Handwash Otomatis Menggunakan Sensor Proximity Berbasis Arduino Guna Mencegah Penularan Virus Corona. RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi): Jurnal Teknik Elektro, 4(2), 84–89. <https://doi.org/10.30596/rele.v4i2.9529>
- Simanullang, J., Iqbal, M., & Damayanti, T. N. (2021). Implementasi Virtual Laboratory Sistem Komunikasi Optik Pada Jurusan D3 Teknologi Telekomunikasi Berbasis Markerless Augmented Reality Implementation of Virtual Laboratory Optical Communication System in D3 of Telecommunication Technology Based on Markerl. Journal Elektro Dan Telekomunikasi Terapan (E-Journal), 8(2), 1068–1079. <https://doi.org/10.25124/jett.v8i2.4114>
- Syafira, N. W., Darlis, D., & Darlis, A. R. (2019). Perancangan Dan Implementasi Underwater Visible Light Communication (Uvlc) Untuk Pengiriman Data Digital Menggunakan Filter Warna. Proceeding of Applied Science, 5(1), 319–333.