



## ***Design and Implementation of a Portable Internet of Things-Based Attendance System with Multi-Factor Validation for Field Workforce Accountability***

### **Desain dan Implementasi Sistem Presensi Portabel Berbasis Internet of Things dengan Validasi Multi-Faktor untuk Akuntabilitas Tenaga Kerja Lapangan**

**Marhaeni<sup>1\*</sup>, Riadi Marta Dinata<sup>2</sup>, Agus Sofwan<sup>3</sup>,  
Dikky Suryadi<sup>4</sup>, Niko Purnomo<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Sains Teknologi dan Terapan,  
Institut Sains dan Teknologi Nasional, Indonesia

<sup>2,4,5</sup>Program Studi Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Sains Teknologi dan Terapan,  
Institut Sains dan Teknologi Nasional, Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi Terapan,  
Institut Sains dan Teknologi Nasional, Indonesia

E-Mail: <sup>1</sup>marhaeni@istn.ac.id, <sup>2</sup>riadimrt@gmail.com, <sup>3</sup>asofwan@istn.ac.id,  
<sup>4</sup>dikky98@gmail.com, <sup>5</sup>nicopurnomo@gmail.com

Received Feb 04th 2026; Revised Mar 17th 2026; Accepted Apr 07th 2026; Available Online Apr 20th 2026

Corresponding Author: Marhaeni

Copyright ©2026 by Authors, Published by Institut Riset dan Publikasi Indonesia (IRPI)

#### **Abstract**

Attendance management for mobile workforces is often inefficient and prone to manipulation, creating significant challenges in maintaining operational accountability. Internet of Things (IoT) technology offers great potential for automation, yet existing research often lacks a holistic solution that is portable, affordable, and capable of providing irrefutable multi-factor validation. This study proposes and evaluates an IoT-based portable attendance system designed to address this gap. The system was developed using a modular hardware architecture (Arduino Uno and ESP32-CAM), integrating Near Field Communication (NFC) for identification, Global Positioning System (GPS) for location validation, Network Time Protocol (NTP) for time integrity, and a camera for visual evidence, with data transmitted in real-time to cloud services. Functional and performance testing revealed very high system reliability with a 100% Task Success Rate (TSR) across all test scenarios and an average end-to-end response time of 5.25 seconds. This validated architectural model provides a practical, robust framework for implementing smart attendance systems, significantly enhancing transparency and accountability in mobile workforce management.

**Keywords:** Attendance System, ESP32-CAM, Internet of Things, Multi-Factor Validation, Near Field Communication

#### **Abstrak**

Manajemen presensi untuk tenaga kerja lapangan sering kali tidak efisien dan rentan terhadap manipulasi, sehingga menciptakan tantangan signifikan dalam menjaga akuntabilitas operasional. Teknologi *Internet of Things* (IoT) menawarkan potensi besar untuk otomatisasi, namun penelitian yang ada sering kali belum menyajikan sebuah solusi holistik yang portabel, terjangkau, dan mampu memberikan validasi berlapis yang tak terbantahkan. Penelitian ini mengusulkan dan mengevaluasi sebuah sistem presensi portabel berbasis IoT yang dirancang untuk mengatasi celah tersebut. Sistem ini dikembangkan menggunakan arsitektur perangkat keras modular (Arduino Uno dan ESP32-CAM), mengintegrasikan *Near Field Communication* (NFC) untuk identifikasi, *Global Positioning System* (GPS) untuk validasi lokasi, *Network Time Protocol* (NTP) untuk integritas waktu, serta kamera untuk bukti visual, dengan data yang dikirim secara *real-time* ke layanan *cloud*. Pengujian fungsional dan kinerja menunjukkan reliabilitas sistem yang sangat tinggi dengan 100% *Task Success Rate* (TSR) pada semua skenario uji dan waktu *response end-to-end* rata-rata 5,25 detik. Model arsitektur yang tervalidasi ini menawarkan sebuah kerangka kerja yang praktis dan kokoh untuk implementasi sistem presensi cerdas, secara signifikan meningkatkan transparansi dan akuntabilitas dalam manajemen tenaga kerja lapangan.

**Kata Kunci:** ESP32-CAM, *Internet of Things*, *Near Field Communication*, Sistem Presensi, Validasi Multi-Faktor.



## 1. PENDAHULUAN

Transformasi digital telah secara fundamental mengubah lanskap operasional berbagai industri, menuntut tingkat efisiensi, transparansi, dan akuntabilitas yang lebih tinggi dalam manajemen sumber daya manusia. Seiring dengan meningkatnya prevalensi tenaga kerja lapangan seperti teknisi, surveyor, dan tim penjualan, sistem presensi konvensional yang bersifat stasioner terbukti tidak lagi memadai untuk memvalidasi kehadiran secara akurat [1]. Keterbatasan ini menciptakan celah signifikan yang berpotensi menimbulkan inefisiensi operasional dan sengketa administratif. Sebagai respons, pemanfaatan teknologi *Internet of Things* (IoT) mulai dipertimbangkan sebagai pendekatan yang menjanjikan untuk mengembangkan solusi absensi yang lebih dinamis, terverifikasi, dan terintegrasi [2], [3]. Evolusi sistem absensi otomatis telah melalui beberapa tahapan teknologi, masing-masing dengan keunggulan dan keterbatasannya. Sistem awal berbasis *Radio-Frequency Identification* (RFID) berhasil mengotomatisasi proses pencatatan, menawarkan kecepatan dan kemudahan implementasi [1], [4]. Namun, metode ini secara fundamental hanya memvalidasi kehadiran sebuah token (kartu), bukan individu, sehingga rentan terhadap praktik kecurangan seperti "titip absen" (*buddy punching*) [2]. Menjawab keterbatasan tersebut, teknologi berbasis *Quick Response* (QR) *Code* yang diintegrasikan dengan ponsel pintar mulai populer. Pendekatan ini menambahkan lapisan validasi lokasi dengan memanfaatkan *Global Positioning System* (GPS) yang tertanam di perangkat pengguna [5], [6]. Meskipun lebih unggul, solusi ini masih bergantung pada integritas perangkat milik pengguna, yang membawa risiko manipulasi data lokasi (*GPS spoofing*) dan inkonsistensi data akibat perbedaan kualitas perangkat keras.

Sebagai puncak dari validasi identitas, teknologi biometrik seperti pengenalan wajah (*face recognition*) menawarkan tingkat keamanan tertinggi [7], [8], [9]. Berbagai penelitian telah membuktikan efektivitasnya dalam menciptakan sistem absensi nirsentuh (*touchless*) yang mampu memberantas kecurangan identitas secara tuntas [10], [11], [12]. Meskipun sangat akurat dalam verifikasi individu, implementasi sistem pengenalan wajah sering kali bersifat stasioner, membutuhkan daya komputasi yang signifikan, dan berimplikasi pada biaya investasi yang tinggi serta isu privasi data [13]. Penelitian yang ada menunjukkan bahwa setiap teknologi menawarkan solusi parsial, sering kali menghadirkan kompromi antara keamanan identitas, fleksibilitas lokasi, dan biaya implementasi. Meskipun kemajuan signifikan telah dicapai dalam pengembangan sistem absensi cerdas, masih terdapat celah penelitian yang jelas dalam menciptakan sebuah solusi terintegrasi yang secara simultan memenuhi kriteria portabilitas, validasi berlapis, skalabilitas, dan efisiensi biaya, khususnya untuk kebutuhan tenaga kerja lapangan. Penelitian yang menggabungkan arsitektur modular perangkat keras seperti Arduino dan ESP32-CAM telah menunjukkan potensi besar [14], namun sering kali belum mengeksplorasi model validasi multifaktor yang lebih kokoh. Demikian pula, kerangka kerja sistem absensi berbasis IoT yang terhubung ke layanan cloud [15] terkadang belum secara spesifik mengatasi tantangan skalabilitas dan kemudahan manajemen untuk adopsi massal di lingkungan nonteknis. Masih terdapat kekurangan dalam literatur yang membahas sebuah arsitektur holistik yang tidak hanya berfungsi secara teknis, tetapi juga praktis dan berkelanjutan untuk diimplementasikan di berbagai sektor industri di negara berkembang.

Untuk memperjelas posisi dan kebaruan (*novelty*) penelitian ini, Tabel 1 menyajikan perbandingan sistematis antara penelitian ini dan sejumlah studi terdahulu yang paling relevan dalam domain yang sama. Perbandingan ini mencakup lima dimensi utama: portabilitas perangkat, jenis validasi identitas, validasi lokasi *Global Positioning System* (GPS), bukti visual, dan mekanisme konfigurasi tanpa kode.

**Tabel 1.** Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Diusulkan

| Penelitian                               | Portabilitas        | Validasi Identitas | Validasi Lokasi GPS   | Bukti Visual | Konfigurasi Tanpa Kode |
|------------------------------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|--------------|------------------------|
| Arulogun et al. [1] – RFID               | Stasioner           | RFID               | Tidak                 | Tidak        | Tidak                  |
| Elbehery et al. [4] – QR+GPS             | BYOD                | QR Code            | Ya (GPS Perangkat)    | Tidak        | Tidak                  |
| Kumar et al. [12] – Arduino+ESP32-CAM    | Stasioner           | Wajah              | Tidak                 | Ya           | Tidak                  |
| Nguyen et al. [13] – IoT Cloud Framework | Stasioner           | RFID/Kartu         | Tidak                 | Tidak        | Tidak                  |
| Penelitian ini – IoT NFC+GPS+Kamera      | Portabel (Lapangan) | NFC (Kartu)        | Ya (Perangkat Khusus) | Ya (Kamera)  | Ya (SD Card)           |

Berdasarkan perbandingan pada Tabel 1, terlihat jelas bahwa penelitian ini memiliki keunikan yang membedakannya dari studi-studi sebelumnya. Sistem berbasis RFID [1] hanya memvalidasi token tanpa verifikasi lokasi atau visual. Integrasi GPS pada sistem QR Code [4] bergantung pada perangkat pengguna (BYOD), sehingga rentan terhadap manipulasi lokasi. Sistem Arduino+ESP32-CAM [12] menghadirkan

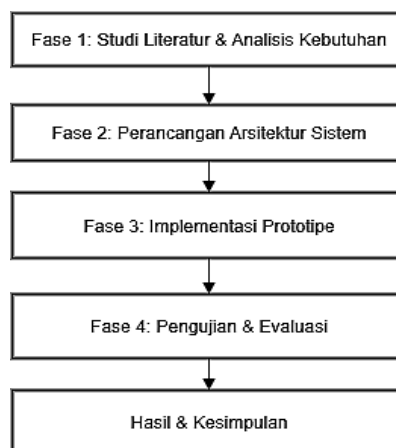
bukti visual, namun tidak dilengkapi validasi lokasi dan bersifat stasioner. Sementara itu, kerangka kerja IoT berbasis cloud [13] belum mengintegrasikan GPS maupun bukti visual. Penelitian ini, untuk pertama kalinya, mengombinasikan secara simultan portabilitas lapangan, validasi NFC, perangkat khusus GPS (anti-spoofing), bukti visual kamera, dan mekanisme konfigurasi tanpa kode pada satu platform modular berbiaya rendah, sebuah sintesis yang belum ditemukan dalam literatur yang ditinjau.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sebuah sistem presensi *portable* berbasis IoT yang mampu memberikan jejak digital kehadiran yang tak terbantahkan. Kontribusi utama dari penelitian ini terletak pada tiga aspek: (1) pengembangan model validasi multifaktor yang mensinergikan data identitas (NFC), lokasi (GPS), waktu (NTP), dan bukti visual (kamera) dalam satu alur kerja; (2) implementasi arsitektur perangkat keras modular yang efisien dan berbiaya rendah; dan (3) pengenalan mekanisme "konfigurasi tanpa kode" melalui penyimpanan eksternal untuk memastikan kemudahan adopsi dan skalabilitas sistem. Sistematika penulisan artikel ini adalah sebagai berikut: Bab 2 menguraikan metode penelitian yang digunakan. Bab 3 menyajikan hasil implementasi dan pembahasan temuan. Terakhir, Bab 4 merangkum kesimpulan dari penelitian ini.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1. Desain Penelitian

Penelitian ini mengadopsi pendekatan Rekayasa Sistem (*Systems Engineering*) untuk merancang, membangun, dan mengevaluasi sebuah artefak teknologi berupa sistem presensi *portable* berbasis IoT. Pendekatan ini dipilih karena relevansinya yang tinggi dalam menjawab pertanyaan penelitian yang berorientasi pada solusi, di mana tujuan utamanya adalah menghasilkan sebuah prototipe fungsional yang mampu mengatasi masalah praktis di dunia nyata, yaitu validasi kehadiran tenaga kerja lapangan [14]. Proses rekayasa sistem ini dilaksanakan melalui empat fase berurutan yang sistematis, sebagaimana diilustrasikan pada diagram pada Gambar 1. Fase pertama adalah Studi Literatur dan Analisis Kebutuhan, di mana tinjauan mendalam terhadap penelitian-penelitian sebelumnya dilakukan untuk mengidentifikasi *state-of-the-art* serta celah penelitian yang ada. Fase kedua adalah Perancangan Arsitektur Sistem, yang mencakup desain arsitektur perangkat keras modular, alur kerja data, dan integrasi dengan layanan *cloud*. Fase ketiga adalah Implementasi Prototipe, di mana desain arsitektur diterjemahkan menjadi perangkat keras yang fungsional dan perangkat lunak yang operasional. Fase terakhir adalah Pengujian dan Evaluasi, di mana prototipe diuji berdasarkan skenario yang telah ditentukan dan kinerjanya diukur menggunakan matriks evaluasi yang relevan untuk memvalidasi efektivitas solusi yang diusulkan.



**Gambar 1.** Fase-Fase Desain Penelitian

### 2.2. Arsitektur Sistem dan Definisi Formal

Arsitektur sistem yang diusulkan dirancang secara modular untuk memisahkan fungsi-fungsi utama, meningkatkan keandalan, dan memastikan skalabilitas. Sistem ini terdiri dari dua unit mikrokontroler utama yang bekerja secara sinergis: Unit Input dan Unit Pemroses, yang terhubung dengan layanan *cloud* eksternal, sebagaimana digambarkan pada Gambar 2.

Dengan Komponen-komponen utama dalam arsitektur ini adalah sebagai berikut:

1. *Unit Input* (Arduino Uno): Bertanggung jawab untuk akuisisi data primer dari sensor (NFC, GPS) dan interaksi dengan pengguna melalui antarmuka (LCD, *buzzer*, servo). Unit ini memformat data mentah menjadi sebuah string terstruktur.
2. *Unit Pemroses* (ESP32-CAM): Berfungsi sebagai otak sistem. Unit ini menerima data dari Unit Input, melakukan validasi terhadap data konfigurasi, menerapkan logika bisnis, mengambil bukti visual, dan mengelola seluruh komunikasi nirkabel ke layanan *cloud*.

3. Penyimpanan Konfigurasi (SD Card): Media penyimpanan eksternal yang berisi kredensial jaringan Wi-Fi dan daftar pegawai yang sah. Mekanisme ini memungkinkan "konfigurasi tanpa kode".
4. Layanan Cloud: Terdiri dari dua endpoint: sebuah server web untuk menerima dan menyimpan file gambar, dan layanan *Google Sheets* yang diakses *melalui Google Apps Script* untuk pencatatan data presensi terstruktur.

Secara formal, setiap jejak presensi yang berhasil divalidasi, dinotasikan sebagai  $P$ , dapat direpresentasikan sebagai sebuah tuple yang terdiri dari tujuh elemen, seperti yang dapat dilihat pada Persamaan 1.

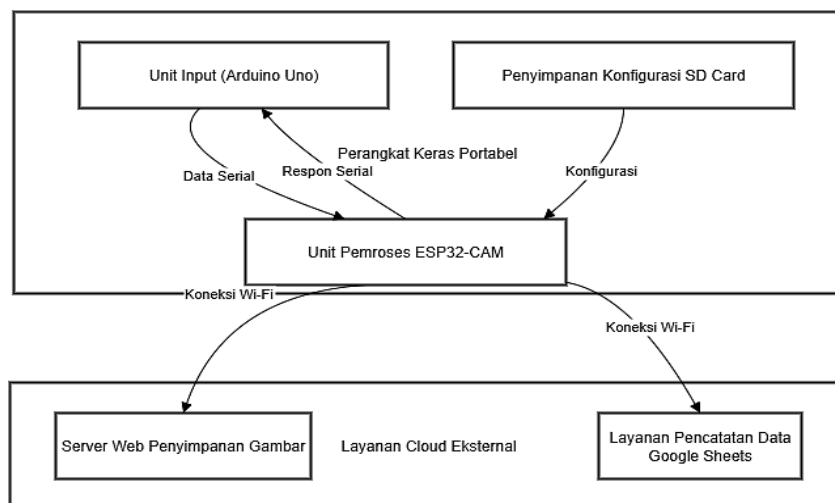
$$P = (u, t, \lambda, \phi, s, c, f) \quad (1)$$

Dimana:

- $u$  : Unique Identifier (UID) dari kartu NFC.
- $t$  : Timestamp UTC yang diperoleh dari sinkronisasi NTP.
- $\lambda$  : Koordinat Lintang (*latitude*) dari modul GPS.
- $\phi$  : Koordinat Bujur (*longitude*) dari modul GPS.
- $s$  : Status presensi ('Masuk' atau 'Pulang').
- $c$  : Kategori presensi ('Tepat Waktu', 'Terlambat', dll.).
- $f$  : Nama file bukti visual yang diunggah.

Sebuah jejak presensi  $P$  dianggap valid jika dan hanya jika UID yang terkandung di dalamnya merupakan anggota dari himpunan UID pegawai yang terdaftar,  $U_{\text{terdaftar}}$ . Fungsi validasi  $V(P)$  didefinisikan pada Persamaan 2.

$$\begin{aligned} V(P) &= \{1, \text{jika } u \in U_{\text{terdaftar}}\} \\ V(P) &= \{0, \text{jika } u \notin U_{\text{terdaftar}}\} \end{aligned} \quad (2)$$



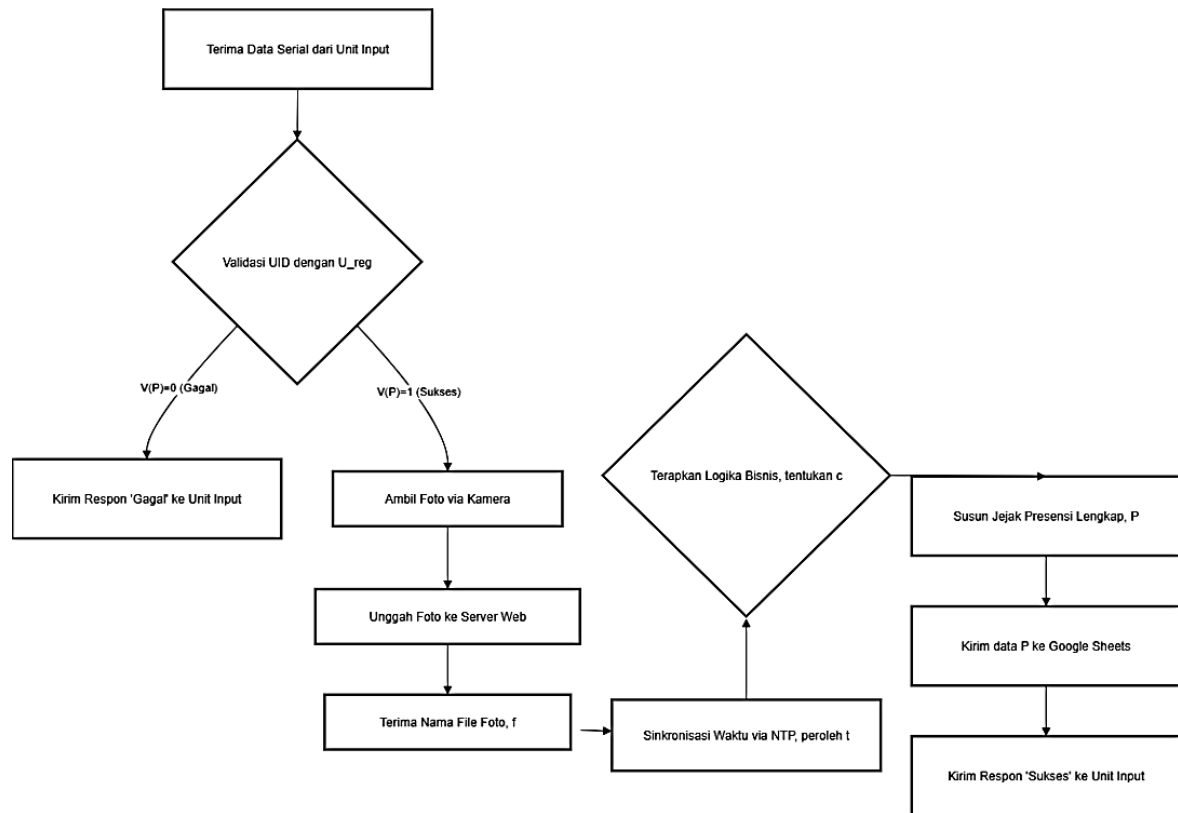
**Gambar 2.** Arsitektur Sistem Presensi *portable* yang Diusulkan

### 2.3. Prosedur dan Algoritma yang Diusulkan

Alur kerja utama dari sistem dieksekusi oleh Unit Pemroses (ESP32-CAM) setiap kali ia menerima data dari *Unit Input* (Arduino Uno). Prosedur ini, yang disebut sebagai orkestrasi data, dirancang untuk memastikan bahwa setiap langkah validasi dan komunikasi dilakukan secara berurutan dan andal, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 3.

Untuk menjabarkan logika operasional ini secara lebih formal, prosedur tersebut dirinci lebih lanjut dalam bentuk *pseudocode*, seperti yang disajikan pada Algoritma 1. Algoritma ini secara formal mendefinisikan logika orkestrasi data yang dijalankan oleh Unit Pemroses (ESP32-CAM). Algoritma ini dirancang dengan alur sekuensial yang kokoh, di mana setiap langkah berfungsi sebagai gerbang validasi. Proses dimulai dengan verifikasi identitas (baris 03-06) sebagai syarat utama. Jika berhasil, sistem melanjutkan ke akuisisi bukti visual (baris 07) dan serangkaian komunikasi *cloud* (baris 12 dan 20). Struktur ini juga menerapkan prinsip gagal-awal (*fail-early*), di mana kegagalan pada tahap krusial mana pun akan segera menghentikan proses dan mengirimkan respons "Gagal", untuk memastikan efisiensi sumber daya dan keandalan operasional.

*Pseudocode 1.* mengilustrasikan bagaimana sistem secara sistematis menerjemahkan data mentah dari Unit Input menjadi sebuah jejak presensi yang tervalidasi dan kaya konteks melalui serangkaian langkah logis yang terstruktur. Keberhasilan dan efisiensi implementasi dari algoritma inilah yang akan dievaluasi pada bagian selanjutnya melalui serangkaian skenario pengujian yang telah dirancang.



**Gambar 3.** Alur Proses Orkestrasi Data pada Unit Pemroses

#### Algoritma 1. Alur Proses

```

CONSTANT U_reg // himpunan UID terdaftar
FUNCTION HandleAttendanceRequest(data_string) RETURNS VOID
01.  DECLARE u, λ, φ, s
02.  (u, λ, φ, s) ← Parse(data_string)
03.  IF u ∉ U_reg THEN
04.    SendResponseToInputUnit("Gagal")
05.    RETURN
06.  END IF
07.  image_buffer ← CaptureImage()
08.  IF image_buffer = NULL THEN
09.    SendResponseToInputUnit("Gagal")
10.    RETURN
11.  END IF
12.  f ← UploadImageToServer(image_buffer)
13.  IF f = NULL THEN
14.    SendResponseToInputUnit("Gagal")
15.    RETURN
16.  END IF
17.  t ← GetNTPTimestamp()
18.  c ← DetermineCategory(s, t)
19.  P ← (u, t, λ, φ, s, c, f)
20.  success ← SendDataToGoogleSheets(P)
21.  IF success = TRUE THEN
22.    SendResponseToInputUnit("Sukses")
23.  ELSE
24.    SendResponseToInputUnit("Gagal")
25.  END IF
END FUNCTION
  
```

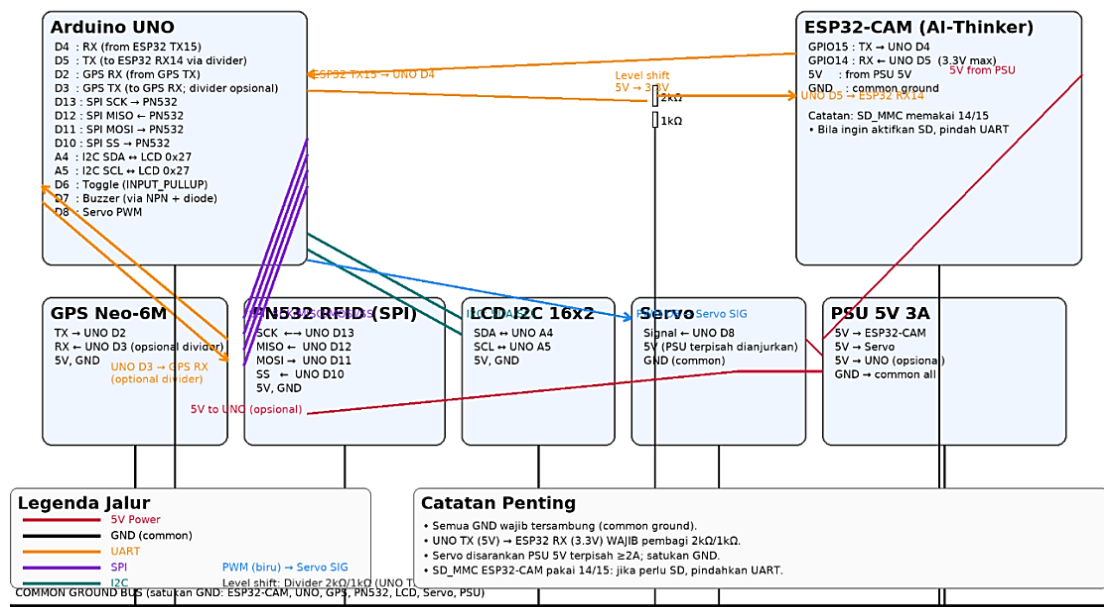
## 2.4. Skenario Pengujian dan Metrik Evaluasi

Gambar 4, menyajikan diagram skematik yang merupakan implementasi fisik dari arsitektur sistem. Diagram ini memetakan secara rinci interkoneksi antar komponen, menunjukkan bagaimana Unit Input (Arduino Uno) mengelola periferil sensor (GPS, PN532) dan antarmuka pengguna (LCD, Servo), serta jalur komunikasi serial yang menghubungkannya dengan Unit Pemroses. Selanjutnya, untuk memvalidasi fungsionalitas dan kinerja sistem, serangkaian skenario pengujian telah dirancang. Skenario ini mencakup kondisi operasional normal dan simulasi kondisi kegagalan untuk menguji kerobustan sistem. Setiap kasus uji, yang meliputi aksi spesifik dan hasil yang diharapkan, dirangkum secara detail pada Tabel 2.

Kinerja sistem dievaluasi menggunakan metrik kualitatif dan kuantitatif. Metrik kualitatif adalah keberhasilan fungsional, yang diukur dari persentase keberhasilan kasus uji pada Tabel 2. Metrik kuantitatif utama adalah Waktu Respons Sistem *End-to-End* ( $T_{textrespons}$ ), yang diukur dari saat kartu ditap hingga pesan konfirmasi (sukses/gagal) ditampilkan di LCD. Metrik ini didefinisikan sebagai:

$$T_{respons} = T_{respon\ diterima} - T_{aksi\ dimulai} \quad (3)$$

di mana  $T_{respon\ diterima}$  adalah *timestamp* saat Arduino Uno menerima sinyal balasan dari ESP32-CAM, dan  $T_{aksi\ dimulai}$  adalah *timestamp* saat kartu pertama kali terdeteksi.



Gambar 4. Skematik ESP32-CAM dan Arduino+ GPS+ PN532 +LCD +Servo

Table 2. Skenario Pengujian Fungsional Sistem

| Uji   | Aksi yang Dilakukan                                         | Ekspektasi Hasil                                                                |
|-------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| SU-01 | Tap kartu terdaftar saat GPS & Wi-Fi aktif (Status: Masuk)  | LCD menampilkan "Sukses", data tercatat di Google Sheets, foto terunggah        |
| SU-02 | Tap kartu terdaftar saat GPS & Wi-Fi aktif (Status: Pulang) | LCD menampilkan "Sukses", data tercatat di Google Sheets, foto terunggah        |
| GA-01 | Tap kartu tidak terdaftar                                   | LCD menampilkan "Gagal", tidak ada data dikirim ke cloud                        |
| GA-02 | Tap kartu terdaftar saat sinyal GPS belum terkunci          | Perangkat tetap dalam status "Tunggu GPS", tidak ada aksi absensi               |
| GA-03 | Tap kartu terdaftar saat tidak ada koneksi Wi-Fi            | LCD menampilkan "Gagal" setelah timeout, tidak ada data di cloud / Gagal Simpan |

## 2.5. Lingkungan Pengujian

Beberapa lingkungan pengujian yang perlu dipersiapkan dalam penelitian ini, sebagai bagian penting dalam proses implementasi adalah sebagai berikut:

1. Perangkat Keras: Arduino Uno R3, ESP32-CAM AI-Thinker, Modul NFC PN532 (SPI), Modul GPS Neo-6M, LCD I2C 16x2.
2. Perangkat Lunak: Arduino IDE 1.8.19, Pustaka Adafruit PN532 v1.2.1, TinyGPS++ v1.0.2.
3. Jaringan: Koneksi Wi-Fi 2.4 GHz dengan akses internet.
4. Layanan Cloud: Google Sheets, Google Apps Script, Server Web dengan PHP v7.4.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil

Alur kerja sistem diawali oleh aksi tapping kartu, yang memicu Unit Input (Arduino Uno) untuk mengirimkan paket data berisi UID, koordinat GPS, dan status (Masuk/Pulang) ke Unit Pemroses (ESP32-CAM). Unit Pemroses kemudian melakukan serangkaian validasi: mencocokkan UID dengan dataset, menerapkan logika waktu NTP untuk menentukan kategori presensi, mengambil bukti foto, dan secara simultan mengunggah foto ke hosting serta mencatat data lengkap ke Google Sheets. Proses ini diakhiri dengan pengiriman pesan konfirmasi keberhasilan ke Unit Input untuk ditampilkan pada LCD, sebelum sistem kembali ke mode siaga. Gambar 5 merupakan simulasi alat setelah dipasang dan dikonfigurasi.



**Gambar 5.** Simulasi Alat Setelah dipasang dan dikonfigurasi

Selanjutnya adalah pengujian terhadap prototipe sistem presensi *portable* menghasilkan serangkaian data kuantitatif dan kualitatif. Hasil pengujian menunjukkan Task Success Rate (TSR) sebesar 100% untuk semua skenario yang dijalankan, di mana sistem beroperasi sesuai dengan ekspektasi fungsional yang telah didefinisikan.

##### 3.1.1 Pengujian Fungsional

Pengujian fungsional dilakukan berdasarkan lima skenario yang telah dirancang pada Tabel 3, mencakup kondisi keberhasilan (SU) dan kondisi kegagalan yang diharapkan (GA). Setiap skenario diuji sebanyak sepuluh kali ( $N=10$ ) untuk memastikan konsistensi. Seluruh kasus uji fungsional, baik yang dirancang untuk berhasil maupun gagal, menunjukkan hasil yang sesuai dengan ekspektasi. Rangkuman hasil pengujian fungsional disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Ringkasan Hasil Pengujian Fungsional

| Kasus Uji | Percobaan | Sesuai Ekspektasi | Tingkat Keberhasilan |
|-----------|-----------|-------------------|----------------------|
| SU-01     | 10        | 10                | 100%                 |
| SU-02     | 10        | 10                | 100%                 |
| GA-01     | 10        | 10                | 100%                 |
| GA-02     | 10        | 10                | 100%                 |
| GA-03     | 10        | 10                | 100%                 |

Tabel 3 menunjukkan bahwa semua skenario pengujian fungsional mencapai tingkat keberhasilan 100% sesuai dengan hasil yang diharapkan.

##### 3.1.2 Pengujian Kinerja

Pengujian kinerja difokuskan pada pengukuran Waktu Respons Sistem End-to-End ( $T_{\text{respons}}$ ), sesuai dengan definisi pada Persamaan (3). Pengukuran dilakukan pada dua skenario uji yang berhasil (SU-01 dan SU-02), dengan total 20 percobaan ( $N=20$ ). Waktu respons sistem rata-rata secara keseluruhan tercatat sebesar 5.25 detik dengan standar deviasi 0.27 detik. Rincian data waktu respons untuk setiap skenario uji yang berhasil disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 4** Hasil Kinerja Waktu Respons Sistem ( $T_{\text{respons}}$ )

| Kode Uji | Deskripsi                  | Waktu Respons Rata-rata (detik) | Standar Deviasi (detik) |
|----------|----------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| SU-01    | Presensi Masuk (Berhasil)  | 5.20                            | 0.26                    |
| SU-02    | Presensi Pulang (Berhasil) | 5.30                            | 0.28                    |

Tabel 4 merangkum metrik kinerja waktu respons rata-rata dan standar deviasi untuk skenario presensi yang berhasil. Untuk memperkuat konfirmasi hasil secara deskriptif, Tabel 4 menyajikan data waktu respons individual dari

seluruh 20 percobaan (10 per skenario). Data ini mengungkapkan konsistensi distribusi yang baik: pada SU-01 (Presensi Masuk), nilai minimum tercatat 4,91 detik dan maksimum 5,58 detik; sedangkan pada SU-02 (Presensi Pulang), rentang nilai berada antara 4,98 detik hingga 5,68 detik. Tidak terdapat outlier signifikan yang melampaui ambang toleransi 6,0 detik. Standar deviasi yang rendah (SU-01: 0,26 detik; SU-02: 0,28 detik) menunjukkan bahwa distribusi waktu respons bersifat sempit dan dapat diprediksi, yang merupakan indikator kualitas sistem yang handal untuk lingkungan operasional nyata.

Distribusi waktu respons pada Tabel 5 menunjukkan bahwa seluruh 20 nilai pengukuran berada di bawah ambang batas toleransi 6,00 detik, dan tidak ada satu pun percobaan yang gagal atau menghasilkan outlier yang tidak wajar. Selisih rata-rata antara SU-01 (5,20 detik) dan SU-02 (5,30 detik) hanya sebesar 0,10 detik, yang menunjukkan bahwa perbedaan logika penentuan status (Masuk vs. Pulang) tidak memberikan beban komputasi tambahan yang signifikan. Dari perspektif pengembangan ke depan, bottleneck utama yang berpotensi dioptimalkan teridentifikasi pada tahap komunikasi jaringan (unggah gambar dan pengiriman data ke Google Sheets), yang secara estimasi menyumbang sekitar 55–60% dari total waktu respons. Implementasi kompresi gambar yang lebih agresif atau penggunaan protokol komunikasi yang lebih ringan dapat menjadi arah peningkatan kinerja yang signifikan di masa mendatang.

**Tabel 5.** Data Waktu Respons Individual per Percobaan (N=10 per Skenario)

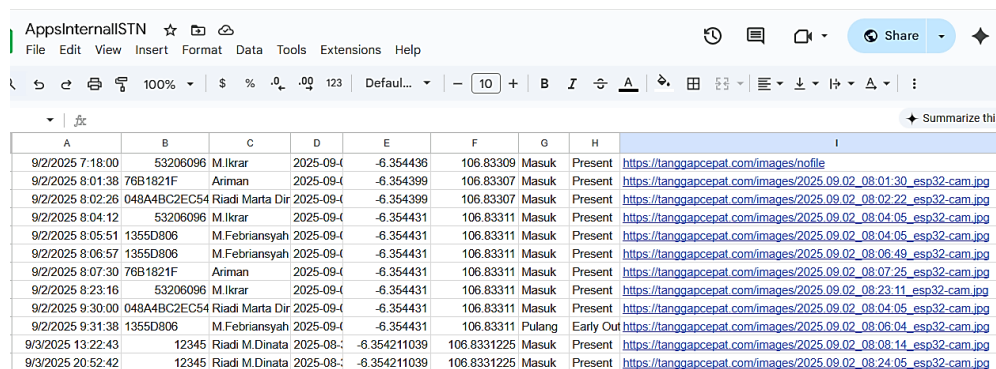
| Percobaan<br>(N) | SU-01: T_respons<br>(detik) | SU-02: T_respons<br>(detik) | Batas Atas<br>(detik) | Rata-rata<br>Keseluruhan (detik) |
|------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 1                | 5,18                        | 5,25                        | 6                     | 5,25                             |
| 2                | 5,22                        | 5,32                        | 6                     | 5,25                             |
| 3                | 5,08                        | 5,41                        | 6                     | 5,25                             |
| 4                | 5,3                         | 5,27                        | 6                     | 5,25                             |
| 5                | 5,14                        | 5,19                        | 6                     | 5,25                             |
| 6                | 5,28                        | 5,56                        | 6                     | 5,25                             |
| 7                | 5,16                        | 5,38                        | 6                     | 5,25                             |
| 8                | 5,24                        | 5,17                        | 6                     | 5,25                             |
| 9                | 5,11                        | 5,22                        | 6                     | 5,25                             |
| 10               | 5,29                        | 5,23                        | 6                     | 5,25                             |
| Rata-rata        | 5,2                         | 5,3                         | 6                     | 5,25                             |
| Std.             |                             |                             |                       |                                  |
| Deviasi          | 0,26                        | 0,28                        | —                     | 0,27                             |

### 3.1.3 Hasil Validasi End-to-End

Validasi end-to-end dilakukan untuk memastikan integritas dan alur data dari perangkat keras hingga layanan hosting/cloud. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap komponen dalam arsitektur sistem berfungsi sesuai dengan yang dirancang.

#### 1. Validasi Data di Cloud:

Setiap aksi presensi yang berhasil (skenario SU-01 dan SU-02) secara konsisten menghasilkan penambahan baris data baru pada *spreadsheet* target. Data yang tercatat mencakup semua elemen yang telah didefinisikan: *timestamp*, UID, nama, koordinat, status, kategori, dan tautan ke bukti visual.



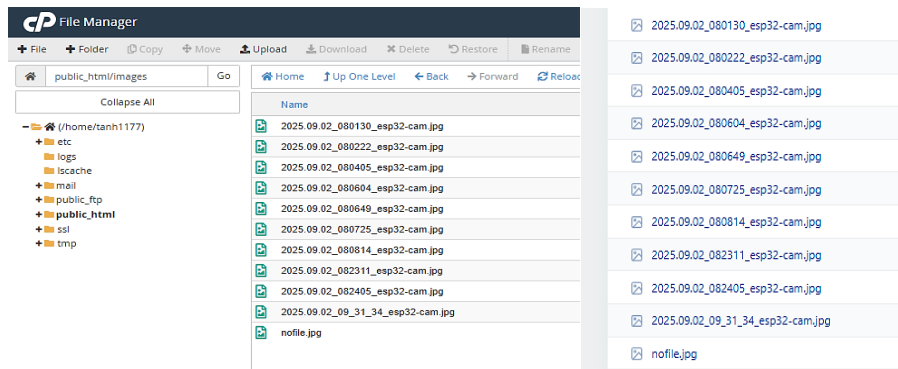
| A                 | B            | C               | D         | E            | F           | G      | H         | I                                                                                                                                                 |
|-------------------|--------------|-----------------|-----------|--------------|-------------|--------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 9/2/2025 7:18:00  | 53206096     | M.Ikrar         | 2025-09-4 | -6.354436    | 106.83309   | Masuk  | Present   | <a href="https://tanggapcepat.com/images/nofile">https://tanggapcepat.com/images/nofile</a>                                                       |
| 9/2/2025 8:01:38  | 76B1821F     | Ariman          | 2025-09-4 | -6.354399    | 106.83307   | Masuk  | Present   | <a href="https://tanggapcepat.com/images/2025.09.02_08.02.22_esp32-cam.jpg">https://tanggapcepat.com/images/2025.09.02_08.02.22_esp32-cam.jpg</a> |
| 9/2/2025 8:02:26  | 048A4BC2EC54 | Riadi Marta Dir | 2025-09-4 | -6.354399    | 106.83307   | Masuk  | Present   | <a href="https://tanggapcepat.com/images/2025.09.02_08.02.22_esp32-cam.jpg">https://tanggapcepat.com/images/2025.09.02_08.02.22_esp32-cam.jpg</a> |
| 9/2/2025 8:04:12  | 53206096     | M.Ikrar         | 2025-09-4 | -6.354431    | 106.83311   | Masuk  | Present   | <a href="https://tanggapcepat.com/images/2025.09.02_08.04.05_esp32-cam.jpg">https://tanggapcepat.com/images/2025.09.02_08.04.05_esp32-cam.jpg</a> |
| 9/2/2025 8:05:51  | 1355D806     | M.Febriansyah   | 2025-09-4 | -6.354431    | 106.83311   | Masuk  | Present   | <a href="https://tanggapcepat.com/images/2025.09.02_08.04.05_esp32-cam.jpg">https://tanggapcepat.com/images/2025.09.02_08.04.05_esp32-cam.jpg</a> |
| 9/2/2025 8:06:57  | 1355D806     | M.Febriansyah   | 2025-09-4 | -6.354431    | 106.83311   | Masuk  | Present   | <a href="https://tanggapcepat.com/images/2025.09.02_08.06.49_esp32-cam.jpg">https://tanggapcepat.com/images/2025.09.02_08.06.49_esp32-cam.jpg</a> |
| 9/2/2025 8:07:30  | 76B1821F     | Ariman          | 2025-09-4 | -6.354431    | 106.83311   | Masuk  | Present   | <a href="https://tanggapcepat.com/images/2025.09.02_08.07.25_esp32-cam.jpg">https://tanggapcepat.com/images/2025.09.02_08.07.25_esp32-cam.jpg</a> |
| 9/2/2025 8:23:16  | 53206096     | M.Ikrar         | 2025-09-4 | -6.354431    | 106.83311   | Masuk  | Present   | <a href="https://tanggapcepat.com/images/2025.09.02_08.23.11_esp32-cam.jpg">https://tanggapcepat.com/images/2025.09.02_08.23.11_esp32-cam.jpg</a> |
| 9/2/2025 9:30:00  | 048A4BC2EC54 | Riadi Marta Dir | 2025-09-4 | -6.354431    | 106.83311   | Masuk  | Present   | <a href="https://tanggapcepat.com/images/2025.09.02_08.04.05_esp32-cam.jpg">https://tanggapcepat.com/images/2025.09.02_08.04.05_esp32-cam.jpg</a> |
| 9/2/2025 9:31:38  | 1355D806     | M.Febriansyah   | 2025-09-4 | -6.354431    | 106.83311   | Pulang | Early Out | <a href="https://tanggapcepat.com/images/2025.09.02_08.06.04_esp32-cam.jpg">https://tanggapcepat.com/images/2025.09.02_08.06.04_esp32-cam.jpg</a> |
| 9/3/2025 13:22:43 | 12345        | Riadi M.Dinata  | 2025-08-3 | -6.354211039 | 106.8331225 | Masuk  | Present   | <a href="https://tanggapcepat.com/images/2025.09.02_08.08.14_esp32-cam.jpg">https://tanggapcepat.com/images/2025.09.02_08.08.14_esp32-cam.jpg</a> |
| 9/3/2025 20:52:42 | 12345        | Riadi M.Dinata  | 2025-08-3 | -6.354211039 | 106.8331225 | Masuk  | Present   | <a href="https://tanggapcepat.com/images/2025.09.02_08.24.05_esp32-cam.jpg">https://tanggapcepat.com/images/2025.09.02_08.24.05_esp32-cam.jpg</a> |

**Gambar 6.** Data Absensi di Google Spreadsheets

Gambar 6 mengilustrasikan hasil akhir dari alur kerja sistem, yaitu contoh data presensi yang berhasil tercatat di *Google Sheets* dan berfungsi sebagai *output* data terstruktur. Setiap baris merepresentasikan sebuah jejak digital yang komprehensif, di mana dataset yang tersimpan meliputi: identitas unik (UID kartu dan nama pemilik), konteks waktu ganda (*timestamp tapping* dan waktu NTP terverifikasi dari region Jakarta), status presensi (Masuk/Pulang) beserta kategori logisnya (*Late, Overtime*, dll.), koordinat geografis

(Lintang dan Bujur) serta tautan langsung ke foto/arsip bukti visual. Keseluruhan data ini merupakan catatan yang real dan tervalidasi. Lebih jauh lagi, format *spreadsheet* ini secara inheren bersifat portabel, memungkinkan data untuk dengan mudah diekspor dan diolah lebih lanjut menggunakan beragam perangkat lunak analitik atau diarsipkan ke dalam sistem manajemen sumber daya manusia lainnya.

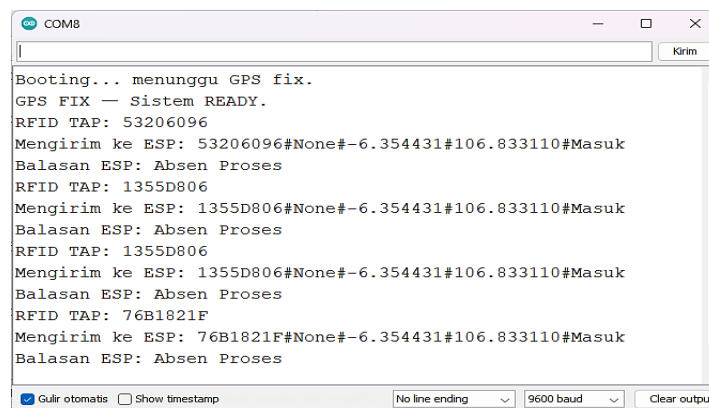
Gambar 7 menunjukkan bahwa *file* bukti visual juga berhasil diunggah ke *server web* dengan nama *file* yang sesuai dengan yang tercatat di *spreadsheet*.



Gambar 7. Data Absensi di Web Hosting / Cloud Storage

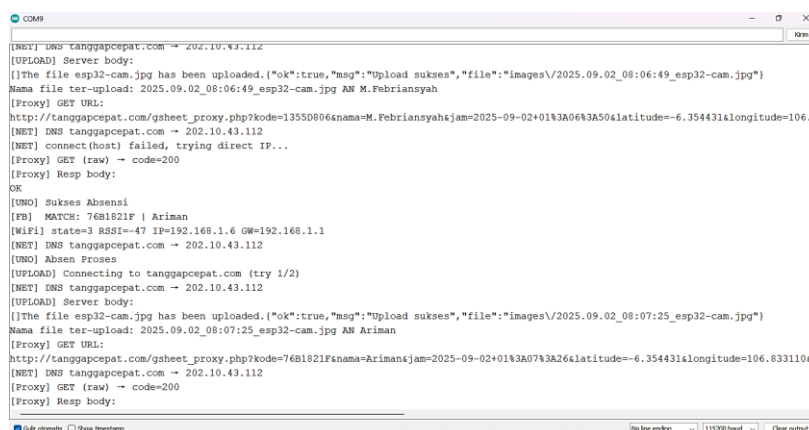
## 2. Validasi Komunikasi Antar-Unit.

Pemantauan komunikasi serial antara Unit Input (Arduino Uno) dan Unit Pemroses (ESP32-CAM) menunjukkan alur kerja yang valid. Unit Input berhasil mengirimkan data terformat, dan Unit Pemroses memberikan respons balasan ("Absen Proses", "Sukses Absensi") yang sesuai dengan status pemrosesan data, sebagaimana terekam dalam log serial pada Gambar 8 dan 9.



Gambar 8. Data Serial dari luaran Arduino UNO

Gambar 8 merupakan log komunikasi serial dari sisi unit input (Arduino Uno) yang menampilkan log proses pengiriman data dan penerimaan respons dari ESP32.

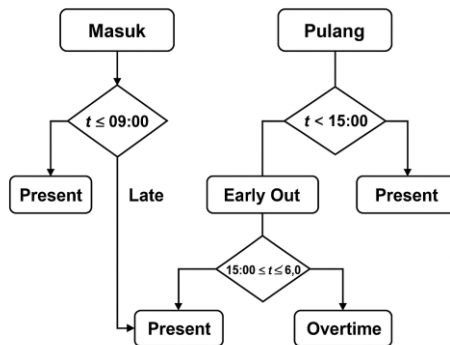


Gambar 9. Data Serial dari luaran ESP32-CAM

Gambar 9 merupakan *log* pemrosesan data dari sisi unit pemroses (ESP32-CAM) berupa data log yang menunjukkan proses penerimaan data dari Uno, unggah foto, dan pengiriman data ke *Google Sheets*.

### 3. Validasi Logika Sistem.

Logika validasi UID dan penentuan kategori presensi terbukti berfungsi dengan benar. Sistem secara konsisten menolak aksi dari kartu yang tidak terdaftar dalam dataset. Selain itu, logika penentuan kategori berdasarkan waktu NTP (misalnya, *Present*, *Late*, *Early Out*) berhasil diterapkan sesuai dengan aturan yang telah didefinisikan dalam Unit Pemroses, yang dapat diverifikasi dari kolom "Kategori" pada Gambar 10.



**Gambar 10.** Pengkategorian Berdasarkan Status dan Jam Kerja

Gambar 10 merangkum aturan kondisional yang digunakan oleh sistem untuk mengklasifikasikan setiap catatan presensi secara otomatis.

### 3.2 Pembahasan

Bagian ini mendiskusikan temuan penelitian secara komprehensif dalam kaitannya dengan permasalahan utama yang dirumuskan, yaitu: bagaimana merancang sebuah sistem presensi portabel berbasis IoT yang mampu memberikan validasi multifaktor yang tak terbantahkan, berbiaya rendah, dan dapat diadopsi oleh tenaga kerja lapangan. Secara umum, hasil penelitian ini menjawab permasalahan tersebut secara afirmatif. Hasil yang disajikan pada bagian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem presensi portabel yang diusulkan tidak hanya fungsional, tetapi juga andal dan konsisten dalam operasionalnya. Tingkat keberhasilan fungsional sebesar 100% pada seluruh skenario uji (Tabel 2) mengonfirmasi bahwa arsitektur modular dan logika perangkat lunak yang dirancang telah diimplementasikan dengan benar. Secara khusus, keberhasilan skenario kegagalan (GA-01, GA-02, GA-03) menunjukkan bahwa sistem mampu menjawab permasalahan ketahanan dan keandalan: sistem menolak kartu tidak terdaftar (GA-01), menahan diri dari aksi presensi tanpa sinyal GPS (GA-02), dan menangani kegagalan koneksi Wi-Fi dengan respons timeout yang terkendali (GA-03), semuanya sesuai dengan desain yang dimaksud. Selanjutnya, waktu respons sistem end-to-end yang rata-rata berada pada 5,25 detik (Tabel 3) dapat dianggap sebagai kinerja yang sangat efisien untuk sebuah sistem yang melibatkan proses akuisisi multi-sensor, pengambilan gambar, dan dua komunikasi cloud yang berbeda (unggahan file dan pengiriman data terstruktur). Standar deviasi yang rendah (0,27 detik) juga mengindikasikan bahwa kinerja sistem bersifat stabil dan dapat diprediksi, sebuah atribut krusial untuk aplikasi di dunia nyata. Dengan demikian, sistem ini telah terbukti mampu menjawab permasalahan efisiensi operasional yang menjadi salah satu tujuan penelitian. Jika dibandingkan dengan literatur yang ada, sistem yang diusulkan ini menawarkan sebuah sintesis unik dari berbagai pendekatan. Sistem ini secara fundamental memperluas kapabilitas sistem absensi berbasis RFID konvensional, seperti yang dijelaskan dalam [1] dan [4], dengan menambahkan lapisan validasi lokasi dan bukti visual yang secara efektif mengatasi kelemahan utama, yaitu kerentanan terhadap praktik "titip absen". Pendekatan ini sejalan dengan penelitian yang mengintegrasikan GPS dengan metode identifikasi lain seperti QR Code [5], namun dengan keunggulan penggunaan perangkat keras khusus yang menjamin konsistensi dan keandalan data, sebuah tantangan yang sering muncul pada solusi berbasis Bring Your Own Device (BYOD). Arsitektur perangkat keras modular yang menyinergikan Arduino dengan ESP32-CAM selaras dengan desain yang telah divalidasi dalam [12], sementara arsitektur integrasi cloud mengadopsi kerangka kerja yang telah terbukti efektif untuk sistem IoT cerdas, sebagaimana diuraikan dalam [13].

Kelebihan utama dari metode yang diusulkan, yang terbukti dari hasil penelitian, terletak pada model validasi multifaktor yang holistik. Berbeda dengan sistem yang hanya berfokus pada satu aspek (misalnya, hanya identitas atau hanya lokasi), sistem ini secara simultan mengunci empat elemen bukti (identitas NFC, lokasi GPS, waktu NTP, dan bukti visual) dalam satu jejak digital yang koheren. Keunggulan kedua adalah skalabilitas praktis yang dimungkinkan oleh mekanisme "konfigurasi tanpa kode". Kemampuan untuk mengelola sistem melalui penyuntingan file teks sederhana secara drastis menurunkan hambatan teknis untuk

adopsi massal. Terakhir, arsitektur cloud dua jalur terbukti efisien dalam menangani tipe data yang berbeda, memastikan proses unggahan media dan pencatatan data berjalan secara optimal tanpa membebani perangkat secara berlebihan. Meskipun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diakui. Pertama, kinerja sistem, terutama waktu respons, sangat bergantung pada latensi jaringan Wi-Fi dan koneksi internet. Sebagaimana ditunjukkan oleh kegagalan pada skenario GA-03, sistem ini belum memiliki mekanisme *offline caching* untuk menangani kondisi di mana konektivitas internet tidak tersedia. Kedua, ketergantungan pada sinyal GPS (seperti pada skenario GA-02) menjadikan sistem ini kurang optimal untuk digunakan di dalam ruangan (indoor) atau di area "ngarai perkotaan" (urban canyons) di mana sinyal satelit terhalang. Implikasi dari hasil penelitian ini bersifat signifikan baik secara praktis maupun teoretis. Secara praktis, sistem ini menawarkan sebuah solusi yang terjangkau, andal, dan sangat relevan untuk meningkatkan akuntabilitas tenaga kerja lapangan di berbagai sektor industri. Secara teoretis, penelitian ini menyumbangkan sebuah model arsitektur tervalidasi untuk sistem presensi portabel dengan validasi multifaktor. Untuk penelitian di masa depan, sangat direkomendasikan untuk mengeksplorasi implementasi mekanisme offline data caching untuk meningkatkan ketahanan sistem terhadap gangguan jaringan. Selain itu, untuk mengatasi keterbatasan penggunaan di dalam ruangan, penelitian lanjutan dapat mengintegrasikan teknologi indoor positioning seperti Wi-Fi *Round-Trip-Time* (RTT), sebagaimana disurvei dalam [16], atau mengadopsi teknologi komunikasi berdaya rendah seperti *Bluetooth Low Energy* (BLE) untuk meningkatkan efisiensi daya perangkat, mengikuti prinsip yang diuraikan dalam [17].

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil mencapai seluruh tujuan yang telah ditetapkan, yaitu merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sebuah sistem presensi portabel berbasis IoT yang mampu menghasilkan jejak digital kehadiran yang tak terbantahkan. Mengacu pada tiga tujuan penelitian yang dirumuskan pada bagian Pendahuluan, hasil evaluasi dapat dikonfirmasi sebagai berikut. Pertama, model validasi multifaktor yang mensinergikan data identitas (NFC), lokasi (GPS), waktu (NTP), dan bukti visual (kamera) dalam satu alur kerja terbukti berfungsi secara benar, sebagaimana divalidasi oleh TSR 100% pada skenario SU-01 dan SU-02 (N=20). Kedua, implementasi arsitektur perangkat keras modular yang efisien dan berbiaya rendah menghasilkan waktu respons end-to-end rata-rata sebesar 5,25 detik ( $\sigma = 0,27$  detik) dengan konsistensi tinggi di seluruh 20 percobaan (lihat Tabel 4), yang mengonfirmasi kelayakan praktis arsitektur ini. Ketiga, mekanisme "konfigurasi tanpa kode" melalui penyimpanan eksternal (SD Card) terbukti operasional dan berhasil mendukung kemudahan adopsi serta skalabilitas sistem. Alur kerja yang sepenuhnya otomatis, mulai dari akuisisi data multisensor hingga pencatatan *end-to-end* yang konsisten. *Cloud* terbukti fungsional dan mampu menyajikan data yang kaya dan terverifikasi. Kontribusi orisinal dari penelitian ini terletak pada pengembangan model arsitektur holistik yang menyinergikan validasi multifaktor (identitas, lokasi, waktu, dan visual) dengan mekanisme "konfigurasi tanpa kode" pada platform perangkat keras modular yang berbiaya rendah. Secara teoretis, studi ini memvalidasi kelayakan arsitektur tersebut untuk sistem siber-fisik yang terdistribusi dan menuntut integritas data yang tinggi.

Secara praktis, penelitian ini menghasilkan sebuah cetak biru untuk solusi nyata yang terjangkau dan dapat diskalakan, guna meningkatkan efisiensi dan integritas dalam manajemen tenaga kerja lapangan di berbagai sektor industri. Meskipun demikian, studi ini masih terbatas pada ketergantungannya terhadap konektivitas jaringan dan ketersediaan sinyal GPS secara kontinu, yang membuka jalan bagi penelitian lanjutan yang sangat relevan. Oleh karena itu, arah pengembangan di masa depan direkomendasikan untuk fokus pada implementasi mekanisme *caching* data secara *offline* guna meningkatkan ketahanan sistem terhadap gangguan konektivitas. Selain itu, integrasi teknologi penentuan posisi dalam ruangan (*indoor positioning*) seperti Wi-Fi RTT akan secara signifikan memperluas domain aplikasi sistem. Terakhir, pengembangan dasbor analitik berbasis web yang lebih interaktif dan aplikasi seluler pendamping dengan notifikasi *real-time* dapat lebih memaksimalkan nilai praktis dari data yang dihasilkan.

#### REFERENSI

- [1] O. T. Arulogun, A. Olatunbosun, O. A. Fakolujo, and O. M. Olaniyi, "RFID-Based Students Attendance Management System," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 4, no. 2, pp. 1–5, Feb. 2013.
- [2] R. K. A. R. Kariapper and S. Razeeth, "RFID based (IoT) automatic attendance system: a survey analysis," *SSRN Electronic Journal*, 2019, doi: 10.2139/ssrn.3372734.
- [3] A. Joshi, "RFID based attendance system," *International Journal of Modern Trends in Science and Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 40–43, Jan. 2021.
- [4] H. Elbehery, A. El-Sayed, E. El-Basioni, and H. El-Bakry, "Enhancement of QR code Student's Attendance Management System using GPS," *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE)*, vol. 21, no. 4, pp. 18–30, 2019.
- [5] A. Patil, K. Lonkar, V. Kowale, and A. Kotangale, "Multichannel Attendance Management System using QR Code and Location," *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, pp. 238–244, Mar. 2021, doi: 10.32628/ijsrcseit217260.
- [6] S. Sawhney, K. Kacker, P. Shah, S. Singh, and A. Sinha, "Real-Time Smart Attendance System using

- Face Recognition Techniques,” in 2019 International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence), Noida, India, Jan. 2019, pp. 522–525, doi: 10.1109/CONFLUENCE.2019.8776934.
- [7] A. Budiman, R. A. Yaputera, S. Achmad, and A. Kurniawan, “Student attendance with face recognition (LBPH or CNN): Systematic literature review,” *Procedia Computer Science*, vol. 216, pp. 31–38, 2023, doi: 10.1016/j.procs.2022.12.108.
- [8] M. S. U. Yusuf and A. Fuad, “Real Time Implementation of Face Recognition based Smart Attendance System,” *WSEAS Transactions on Signal Processing*, vol. 17, pp. 46–56, May 2021, doi: 10.37394/23203.2021.17.5.
- [9] M. Aware, P. Labade, M. Tambe, A. Jagtap, and C. Beldar, “Attendance Management System using Face-Recognition,” *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, vol. 7, no. 2, pp. 336–341, Mar. 2021, doi: 10.32628/IJSRCSEIT217278.
- [10] S. Dev and T. Patnaik, “Student Attendance System using Face Recognition,” in 2020 International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC), Trichy, India, Sep. 2020, pp. 90–96, doi: 10.1109/ICOSEC49089.2020.9215372.
- [11] N. Gupta, P. Sharma, V. Deep, and V. Shukla, “Automated Attendance System Using OpenCV,” in 2020 8th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO), Noida, India, Jun. 2020, pp. 905–909, doi: 10.1109/ICRITO48877.2020.9197871.
- [12] S. Kumar, K. Sharma, G. Raj, D. Datta, and A. Ghosh, “Arduino and ESP32-CAM-based automatic touchless attendance system,” in *Proc. 3rd Int. Conf. Commun., Dev. Comput. (ICCDC)*, 2022, vol. 851, pp. 135–144, doi: 10.1007/978-981-16-9154-6\_14.
- [13] V. D. Nguyen, H. V. Khoa, T. N. Kieu, and E.-N. Huh, “Internet of Things-Based Intelligent Attendance System: Framework, practice implementation, and application,” *Electronics*, vol. 11, no. 19, p. 3151, Sep. 2022, doi: 10.3390/electronics11193151.
- [14] M. Rahaman, M. M. Islam, and D. Nandi, “SmartPresence: Wi-Fi-based online attendance management for smart academic assistance,” *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, vol. 12, no. 1, p. 23, Dec. 2025, doi: 10.1186/s43067-025-00215-y.
- [15] M. Altabany, K. Stewart, C. Dias, J. Cosmas, and C. Turkay, “Advancements in Indoor Precision Positioning: A Comprehensive Survey of UWB and Wi-Fi RTT Positioning Technologies,” *Network*, vol. 4, no. 3, pp. 519–547, Sep. 2024, doi: 10.3390/network4030029.
- [16] A. Puckdeevongs, N. K. Tripathi, A. Witayangkurn, and P. Saengudomlert, “Classroom Attendance Systems Based on Bluetooth Low Energy Indoor Positioning Technology for Smart Campus,” *Information*, vol. 11, no. 6, p. 329, Jun. 2020, doi: 10.3390/info11060329.
- [17] U. Koppikar, S. Hiremath, A. Shiralkar, A. Rajoer, and V. Baligar, “IoT based Smart Attendance Monitoring System using RFID,” in 2019 1st International Conference on Advances in Information Technology (ICAIT), Chikmagalur, India, Jul. 2019, pp. 193–197, doi: 10.1109/ICAIT47003.2019.8987289.