



JURNAL RISET TEKNIK KOMPUTER

Halaman Jurnal: <https://journal.smartpublisher.id/index.php/jurtikom>

Halaman UTAMA Jurnal : <https://journal.smartpublisher.id>



DOI: <https://doi.org/10.69714/3s59ya30>

SISTEM PRESENSI SANTRI BERBASIS ESP32 MENGGUNAKAN RFID DAN PIN DINAMIS TERINTEGRASI TELEGRAM

Al Fatkurrozak ^{a*}, Dendy Kurniawan ^b, Iman Saufik Suasana ^c

^a Fakultas Studi Akademik / Program Studi Sistem Komputer; rozak7807@gmail.com, Universitas Sains dan Teknologi Komputer Semarang; Jl. Majapahit, Kota Semarang, Jawa Tengah

^b Fakultas Studi Akademik / Program Studi Sistem Komputer; dendy@stekom.ac.id, Universitas Sains dan Teknologi Komputer Semarang; Jl. Majapahit, Kota Semarang, Jawa Tengah

^c Fakultas Studi Akademik / Program Studi Sistem Komputer; saufik@stekom.ac.id, Universitas Sains dan Teknologi Komputer Semarang; Jl. Majapahit, Kota Semarang, Jawa Tengah

* Penulis Korespondensi: Al Fatkurrozak

ABSTRACT

Conventional Radio Frequency Identification (RFID)-based attendance systems in educational environments, such as Islamic boarding schools (pesantren), still suffer from a fundamental vulnerability to buddy punching fraud. This study aims to design and implement a student attendance system based on the ESP32 microcontroller by applying a Two-Factor Authentication (2FA) mechanism combining an MFRC522 RFID card and a Dynamic PIN, integrated with a Telegram Bot in real-time as an automated attendance solution at Pondok Pesantren Baitussyakirin, Brangsong, Kendal Regency. The development method used is Research and Development (R&D) with an embedded system approach. When an RFID card is tapped, the ESP32 instantly generates a random 4-digit PIN on a 16x2 LCD screen, which students must retype via a 4x4 keypad within a 8-second timeout limit. Test results show that the MFRC522 RFID reader performs optimally at a distance of 0–2.5 cm. The implementation of the Dynamic PIN proved 100% effective in preventing buddy punching by validating the physical presence of the user at the site. Attendance notification delivery to the administrator's Telegram application achieved a 100% success rate with an average delay of 2.42 seconds on a stable Wi-Fi network. This system successfully provides a secure, accurate, cost-effective, and transparent student attendance solution.

Keywords: Student Attendance; ESP32; RFID MFRC522; Dynamic PIN; Telegram Bot.

Abstrak

Sistem presensi berbasis *Radio Frequency Identification* (RFID) konvensional pada lingkungan pendidikan seperti pondok pesantren masih memiliki kelemahan mendasar berupa kerentanan terhadap praktik kecurangan titip absen (*buddy punching*). Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem absensi santri berbasis mikrokontroler ESP32 dengan menerapkan mekanisme *Two-Factor Authentication* (2FA) berupa penggabungan kartu RFID MFRC522 dan *Dynamic PIN* (PIN Dinamis), serta terintegrasi dengan Bot Telegram secara *real-time* sebagai solusi otomatisasi presensi di Pondok Pesantren Baitussyakirin, Brangsong, Kabupaten Kendal. Metode pengembangan yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan pendekatan *embedded system*. Ketika kartu RFID di-tap, ESP32 secara instan menghasilkan 4-digit PIN acak pada layar LCD 16x2 yang wajib diketik ulang oleh santri melalui *keypad* 4x4 dalam batas waktu *timeout* 8 detik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pembacaan RFID MFRC522 bekerja optimal pada jarak 0–2.5 cm. Penerapan PIN Dinamis terbukti 100% efektif menggagalkan upaya titip absen karena memvalidasi kehadiran fisik pengguna di lokasi. Pengiriman notifikasi presensi ke aplikasi Telegram pengurus memiliki tingkat keberhasilan 100% dengan rata-rata *delay* sebesar 2.42 detik pada jaringan Wi-Fi lokal pesantren. Sistem ini berhasil memberikan solusi presensi santri yang aman, akurat, hemat biaya, dan transparan.

Kata Kunci: Absensi Santri; ESP32; RFID MFRC522, PIN Dinamis; Telegram Bot.

1. PENDAHULUAN

Kedisiplinan dan transparansi sistem presensi merupakan pilar utama dalam mendukung tata kelola administrasi pada lembaga pendidikan, termasuk pondok pesantren. Namun, pencatatan kehadiran di Pondok Pesantren Baitussyakirin Brangsong, Kendal, untuk kegiatan harian seperti pengajian, madrasah, dan sholat berjamaah masih dilakukan secara konvensional menggunakan media kertas [1]. Metode manual ini membutuhkan waktu lama dalam proses rekapitulasi data, rentan terhadap kesalahan manusia (*human error*), serta berisiko mengalami kerusakan fisik dokumen hingga manipulasi data. Ketidadaan pemantauan secara *real-time* juga menyulitkan pihak pengurus dalam memperoleh informasi kehadiran santri yang akurat [2].

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan peluang besar dalam memodernisasi infrastruktur presensi tersebut. Penggunaan mikrokontroler ESP32 menawarkan keunggulan berupa modul Wi-Fi terintegrasi, pemrosesan data yang cepat, serta efisiensi daya yang optimal untuk sistem tertanam (*embedded system*) [3]. Selain itu, pengintegrasian modul *Radio Frequency Identification* (RFID) dengan ESP32 telah banyak diterapkan sebagai solusi otomasi presensi karena proses identifikasi entitas dapat berlangsung secara nirkontak (*contactless*) dan efisien [4].

Meskipun sistem berbasis RFID menawarkan efisiensi tinggi, penelitian menunjukkan bahwa penggunaan satu faktor autentikasi (*single-factor authentication*) memiliki kelemahan mendasar pada aspek keamanan data [5]. Kartu RFID fisik rentan dipindahtangankan, dipinjamkan, atau digunakan oleh pihak lain yang tidak berhak, yang mengakibatkan maraknya fenomena titip absen (*buddy punching*). Kondisi ini menyebabkan data kehadiran yang terekam tidak mencerminkan keberadaan fisik santri yang sebenarnya di lokasi kegiatan [6].

Untuk mengunci kelemahan tersebut, penerapan metode autentikasi dua faktor (*Two-Factor Authentication*) menjadi kebutuhan mutlak dalam menjamin validitas data. Penggabungan teknologi RFID dengan mekanisme *Dynamic PIN* (PIN Dinamis) yang ditampilkan pada layar LCD secara acak dan berdurasi singkat mampu mengharuskan santri menginputkan kode tersebut melalui *keypad*. Mekanisme ini memastikan bahwa santri yang bersangkutan wajib hadir secara fisik di depan alat saat proses absensi berlangsung [7].

Selain keandalan pada sisi validasi identitas, aspek penyampaian informasi hasil presensi juga memegang peranan krusial. Penggunaan aplikasi pesan instan berbasis *cloud* seperti Telegram melalui API Bot memungkinkan pengiriman notifikasi presensi secara cepat, terenkripsi, dan stabil tanpa membebankan biaya operasional SMS *Gateway* yang mahal [8]. Integrasi ini memberikan transparansi penuh kepada pihak pengasuh dan pengurus pesantren untuk memantau kedisiplinan santri secara instan. Berdasarkan latar belakang dan permasalahan tersebut, penelitian berjudul "Sistem Presensi Santri Berbasis ESP32 Menggunakan RFID dan PIN Dinamis Terintegrasi Telegram" ini penting untuk dirancang dan diimplementasikan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Arsitektur Mikrokontroler Berbasis IoT

Pengembangan sistem presensi berbasis *Internet of Things* (IoT) membutuhkan mikrokontroler yang tidak hanya mampu menangani komputasi lokal, tetapi juga memiliki kemampuan konektivitas nirkabel secara langsung. Penelitian terdahulu banyak mengandalkan kombinasi Arduino Uno dan modul eksternal seperti ESP8266 atau SIM800L, namun arsitektur tersebut menambah kompleksitas jalur komunikasi serial dan meningkatkan konsumsi daya [9]. Penggunaan ESP32 mengatasi keterbatasan ini melalui integrasi *System on a Chip* (SoC) berbasis prosesor Tensilica Xtensa 32-bit dual-core serta modul Wi-Fi (802.11 b/g/n) internal. Dalam arsitektur sistem presensi ini, ESP32 dipilih karena efisiensinya dalam mengeksekusi algoritma random generator PIN dinamis secara *real-time* sekaligus mengelola komunikasi terenkripsi SSL/TLS ke server Telegram tanpa memerlukan *board* komunikasi tambahan.

2.2. Teknologi Identifikasi Kontak Nirkabel (RFID MFRC522)

Teknologi *Radio Frequency Identification* (RFID) pada frekuensi *High Frequency* (HF) 13,56 MHz telah menjadi standar de facto pada otomatisasi sistem identifikasi nirkontak (*contactless*). Dibandingkan dengan teknologi berbasis bar code atau QR code yang rentan mengalami kegagalan pembacaan akibat kerusakan visual atau pantulan cahaya, modul RFID MFRC522 menggunakan induksi medan elektromagnetik berbasis protokol *Serial Peripheral Interface* (SPI) untuk membaca kode *Unique Identifier* (UID) kartu [10]. Meskipun demikian, transmisi UID pada *passive tag* RFID bersifat terbuka dan tidak memiliki mekanisme keamanan bawaan terhadap duplikasi fisik kartu, sehingga memerlukan lapisan validasi tambahan pada tingkat pengolahan data.

2.3. Autentikasi Dua Faktor (2FA) dan PIN Dinamis (*Dynamic PIN*)

Celah utama pada sebagian besar sistem presensi berbasis RFID terletak pada ketergantungannya terhadap otentikasi faktor tunggal (*single-factor authentication*). Praktik titip absen (*buddy punching*) terjadi karena sistem hanya memverifikasi kepemilikan objek (kartu RFID), bukan kehadiran fisik individu [11]. Penerapan *Two-Factor Authentication* (2FA) menggabungkan faktor kepemilikan (*something you have*, yaitu kartu RFID) dan faktor pengetahuan (*something you know*, yaitu kode PIN). Untuk mencegah kebocoran PIN statis yang dapat dihafal atau dibagikan antar-santri, diterapkan algoritma PIN Dinamis. PIN dinamis menghasilkan 4-digit kode acak bersifat sementara (*time-based*) yang tampil pada LCD lokal dengan batas waktu (*timeout*) 8 detik, sehingga memaksa subjek presensi hadir secara fisik di depan alat.

2.4. Protokol Komunikasi Notifikasi via Telegram Bot API

Penyampaian informasi kehadiran secara *real-time* memerlukan infrastruktur notifikasi yang responsif dan hemat biaya operasional. Penggunaan layanan SMS *Gateway* konvensional terbukti memakan biaya transaksi yang tinggi, sementara pembangunan aplikasi *mobile/web* khusus sering kali terkendala oleh kerumitan *maintenance* server lokal [12]. Integrasi *Application Programming Interface* (API) Bot Telegram berbasis *cloud* menjadi alternatif unggul karena memanfaatkan protokol *HTTPS/SSL secure client* yang terenkripsi. Telegram API memungkinkan mikrokontroler ESP32 mengirimkan Notifikasi *Push* secara langsung ke perangkat pengurus pesantren dengan *bandwidth* yang sangat rendah dan tanpa memerlukan biaya per transaksi.

2.5. Sintesis Penelitian Terdahulu dan Kebaruan Penelitian

Pengembangan sistem ini didasarkan pada sintesis beberapa penelitian terdahulu mengenai otomatisasi presensi dan jaringan sensor IoT. Syahputra dan Santoso membuktikan bahwa penerapan RFID dan ESP32 mampu meningkatkan efisiensi waktu presensi hingga 80% dibandingkan metode manual. Namun, sistem tersebut masih mengandalkan otentikasi tunggal sehingga rentan terhadap praktik titip kartu [13]. Di sisi lain, Akbar dkk. menunjukkan keandalan API Telegram dalam mengirimkan notifikasi *real-time* dengan *delay* di bawah 2 detik, tetapi penelitian tersebut tidak dilengkapi mekanisme validasi fisik tambahan di lokasi perangkat [14].

Untuk mempertegas *research gap* dan posisi kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini dibandingkan dengan pustaka acuan, perbandingan fitur dan pendekatan ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1. Perbandingan Komparatif Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Diusulkan			
Parameter Perbandingan	Syahputra dan Santoso [13]	Akbar dkk. [14]	Penelitian yang Diusulkan
Kontroler Utama	ESP32	ESP32	ESP32
Metode Identifikasi	RFID (Single-Factor)	RFID (Single-Factor)	RFID + PIN Dinamis 4-Digit (2FA)
Media Notifikasi	Tidak Ada	Bot Telegram API	Bot Telegram API
Keandalan Keamanan	Rentan Titip Absen	Rentan Titip Absen	Bebas Titip Absen (Validasi Fisik)
Mekanisme Timeout	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada (Batas Waktu Input 8 Detik)
Indikator Lokal	LCD dan Buzzer	Buzzer	LCD dan Buzzer

Kebaruan (*novelty*) utama dalam penelitian ini terletak pada integrasi 2FA berbasis PIN Dinamis terkonfirmasi LCD yang dieksekusi secara *real-time* oleh ESP32 sebelum notifikasi diteruskan ke Telegram. Pendekatan ini berhasil menggabungkan kecepatan transaksi RFID, keandalan notifikasi Telegram, dan keandalan keamanan 2FA untuk mengeliminasi celah kecurangan titip absen (*buddy punching*) secara total di Pondok Pesantren Baitussyakirin Brangsang Kendal.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dan pengujian prototype alat ini dilaksanakan di Pondok Pesantren Baitussyakirin, Kecamatan Brangsang, Kabupaten Kendal, Jawa Tengah. Pengujian dilakukan pada lingkungan pesantren dengan melibatkan sampel santri dan pengurus setempat untuk menguji keandalan pembacaan alat serta pengiriman notifikasi presensi melalui jaringan Wi-Fi lokal pesantren.

3.2. Kerangka Kerja Penelitian

Metode yang digunakan adalah metode *Research and Development* (R&D) dengan pendekatan pengembangan sistem tertanam (*embedded system*) [15]. Tahapan penelitian meliputi:

- Analisis Kebutuhan: Mengidentifikasi kebutuhan fungsional alat dan komponen *hardware/software*.
- Perancangan Sistem: Membuat diagram blok, skema *wiring*, dan *flowchart* alur program.
- Implementasi dan Perakitan: Merangkai komponen elektronik dan mengunggah kode program ke ESP32.
- Pengujian dan Analisis: Melakukan uji fungsi modul, uji validasi PIN dinamis, dan uji delay notifikasi Telegram.

3.3. Spesifikasi Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

Untuk memastikan sistem presensi dapat direplikasi secara presisi, seluruh komponen perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang digunakan dikonfigurasi berdasarkan spesifikasi teknis pada Tabel 2. dan Tabel 3.

3.3.1. Perangkat Keras (Hardware)

Tabel 2. Spesifikasi Teknis Perangkat Lunak

Komponen	Spesifikasi Teknis	Fungsi dalam Sistem
ESP32 DevKit V1	Mikrokontroler Tensilica Xtensa 32-bit LX6 Dual-Core 240 MHz, Flash 4MB, SRAM 520KB, Wi-Fi 802.11 b/g/n (2,4 GHz), Tegangan Kerja 3,3V	Pengendali utama sistem, penghasil PIN dinamis acak, serta pengelola transmisi jaringan terenkripsi ke Telegram.
RFID MFRC522	Frekuensi 13,56 MHz (HF), Protokol Komunikasi SPI, Tegangan Kerja 2,5V–3,3V, Standar ISO/IEC 14443 A/MIFARE	Membaca kode Unique Identifier (UID) 10-digit dari kartu atau tag RFID pasif milik santri.
LCD 16x2 I2C	Display 16 Karakter x 2 Baris, Backlight Biru, Modul Adapter PCF8574 (Alamat I2C bawaan: 0x27 atau 0x3F), Tegangan Kerja 5V	Menampilkan instruksi sistem, kode PIN dinamis 4-digit, hitung mundur timeout, dan status presensi secara real-time.
Keypad Matriks 4x4	Membrane Matrix 16 Tombol (0-9, A-D, *, #), Input Digital via Pin GPIO, Tegangan Kerja 3,3V–5V	Antarmuka fisik bagi santri untuk memasukkan 4-digit PIN dinamis dan mengonfirmasi input (tombol #).
Active Buzzer 5V	Piezoelectric Active Buzzer 5V DC, Output Suara ~85 dB, Konsumsi Arus <30 mA	Indikator audio untuk umpan balik fisik (1 bep pendek untuk presensi berhasil, 3 bep cepat untuk kegagalan/PIN salah).
Catu Daya (Power Supply)	Adaptor AC-DC 5V / 2A (Kabel USB Type-A ke Micro-USB), Tegangan Keluaran 5V DC Terregulasi	Menyediakan suplai daya listrik yang stabil untuk ESP32 dan seluruh modul periferal yang terhubung.

3.3.2. Perangkat Lunak (Software)

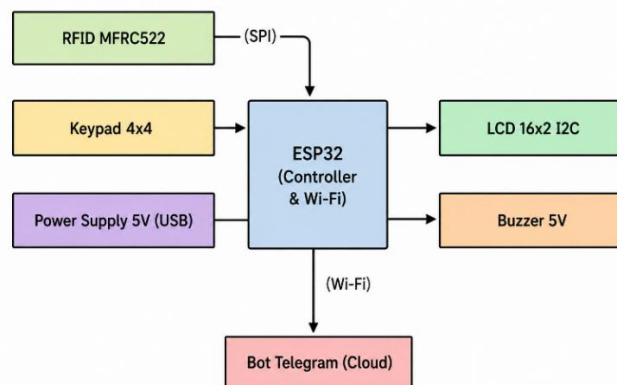
Tabel 3. Spesifikasi Teknis Perangkat Lunak

Komponen	Spesifikasi Teknis	Fungsi dalam Sistem
Arduino IDE	Versi 2.3.9 (Integrated Development Environment), Bahasa Pemrograman C/C++	Memuat, mengompilasi, dan mengunggah program utama (firmware) ke dalam memori ESP32 melalui driver CP2102.
Universal Telegram Bot Library	Library UniversalTelegramBot (oleh Brian Lough) v1.3.0	Mengelola permintaan HTTP/JSON API ke Server Telegram untuk pengiriman notifikasi presensi.
WiFiClientSecure Library	Library Bawaan ESP32 Core untuk Keamanan SSL/TLS	Menangani koneksi Wi-Fi terenkripsi (HTTPS Port 443) agar pengiriman data ke Telegram API berjalan aman.
SPI & MFRC522 Library	Library MFRC522 (oleh miguelbalboa) v1.4.10	Memfasilitasi komunikasi jalur bus SPI antara ESP32 dan

		modul pembaca RFID MFRC522.
LiquidCrystal_I2C Library	Library LiquidCrystal_I2C v1.1.2	Mengatur tampilan data visual pada layar LCD 16x2 melalui jalur komunikasi I2C (SDA/SCL).
Keypad Library	Library Keypad (oleh Mark Stanley) v3.1.1	Membaca status input matriks baris dan kolom dari keypad 4x4.
Aplikasi Telegram	Aplikasi Klien Resmi (Versi Ponsel & Komputer, Android/iOS)	Antarmuka pengguna bagi pengurus pesantren untuk menerima notifikasi kehadiran santri secara real-time.

3.4. Perancangan Arsitektur Sistem

Berikut adalah perancangan arsitektur sistem:



Gambar 1. Perancangan Arsitektur Sistem

3.5. Skema Pengkabelan (Wiring)

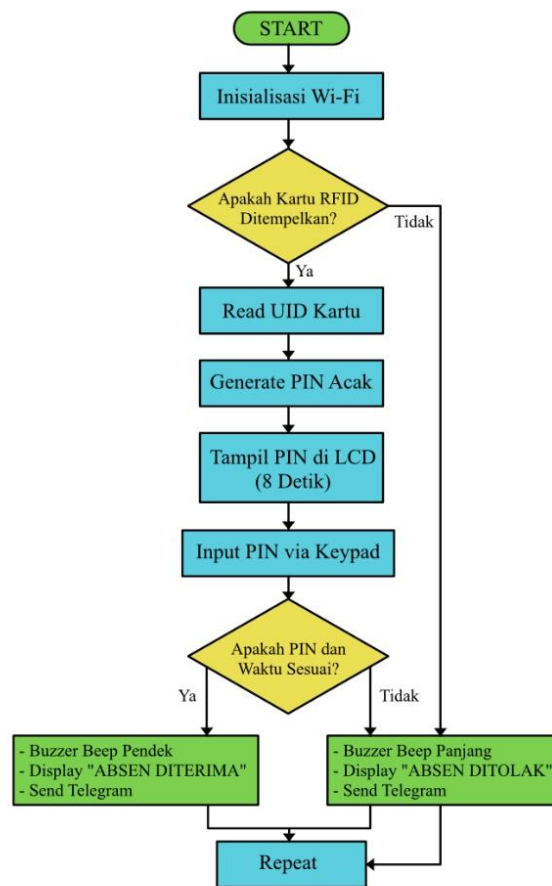
Tabel berikut menunjukkan pemetaan pin (*pinout*) antara mikrokontroler ESP32 dengan komponen pendukungnya:

Tabel 4. Pemetaan Pin Mikrokontroler

Modul Hardware	Pin Modul	Pin ESP32	Jenis Antarmuka
RFID MFRC522	SDA, SCK, MOSI, MISO, RST, VCC, GND	D5, D18, D23, D19, D22, 3.3V, GND	I2C Protocol dan Power Supply
LCD 16x2 I2C	SDA, SCL, VCC, GND	D21, D22, 5V, GND	I2C Protocol dan Power Supply
Keypad 4x4	Row 1-4, Col 1-4	D13, D12, D14, D27, D26, D25, D33, D32	Digital Input Output
Buzzer 5V	Positif (+), GND	D4, GND	Digital Output

3.6. Algoritma dan Alur Kerja Sistem (Flowchart)

Berikut adalah alur kerja sistem:



Gambar 2. Rancangan Alur Kerja Sistem

3.7. Skenario Pengujian Alat

Untuk menguji keandalan dan kinerja sistem secara ilmiah di Pondok Pesantren Baitussyakirin Brangsong Kendal, dirancang tiga skenario pengujian ekperimental berbasis pengulangan (*repetition*) sebagai berikut:

3.7.1. Pengujian Jarak Pembacaan Modul RFID MFRC522

Pengujian ini bertujuan untuk mengukur batas jarak efektif dan kemampuan penetrasi gelombang elektromagnetik modul RFID MFRC522 terhadap penghalang fisik.

- Prosedur & Parameter: Pengujian dilakukan menggunakan 5 kartu/tag RFID pasif (13,56 MHz) yang telah terdaftar. Jarak ukur diatur mulai dari 0 cm hingga 5 cm dengan interval kelipatan 0,5 cm menggunakan mistar ukur presisi. Setiap variasi jarak diuji sebanyak 10 kali pengulangan (*trials*), sehingga menghasilkan total 50 kali pengujian tanpa penghalang.
- Pengujian Penghalang (*Obstruksi*): Dilakukan pengujian tambahan dengan menempatkan kartu di dalam dompet bahan kulit dan di dalam saku kain busana santri pada jarak 0–2 cm, masing-masing sebanyak 10 kali pengulangan.
- Indikator Keberhasilan: Pengujian dinyatakan Berhasil (*Success*) apabila UID kartu berhasil terbaca oleh modul MFRC522, ditandai dengan bunyi *buzzer* 1 kali dan munculnya instruksi input PIN pada LCD 16x2.

3.7.2. Pengujian Validasi Keamanan 2FA dan PIN Dinamis

Pengujian ini dirancang untuk memverifikasi keandalan logika pemrograman ESP32 dalam mengeliminasi kecurangan *buddy punching* dan menangani kegagalan input.

- Prosedur & Parameter: Pengujian dibagi menjadi dua skenario utama yang masing-masing diulang sebanyak 10 kali percobaan:

- 1) Skenario Validasi PIN: Penguji memasukkan kombinasi PIN 4-digit yang sesuai dan tidak sesuai dengan kode acak yang tertera pada LCD.
 - 2) Skenario Batas Waktu (*Timeout*): Penguji membiarkan alat setelah proses tap kartu tanpa menekan keypad hingga melewati batas waktu *timeout* (8 detik).
- b. Indikator Keberhasilan: Sistem dinyatakan Valid apabila:
- 1) Sistem menerima presensi (LCD: “PIN BENAR”, *Beep* pendek) hanya jika PIN yang diketikkan 100% cocok sebelum *timeout*.
 - 2) Sistem menolak presensi (LCD: “PIN SALAH”, *Beep* panjang) jika PIN tidak sesuai.
 - 3) Sistem menggagalkan presensi (LCD: “WAKTU HABIS”, *Beep* panjang) secara otomatis saat durasi melewati 8 detik.

3.7.3. Pengujian Validasi Keamanan 2FA dan PIN Dinamis

Pengujian ini bertujuan mengukur *delay* transmisi data dari mikrokontroler ESP32 menuju aplikasi Telegram pengurus melalui koneksi Wi-Fi.

- a. Prosedur & Parameter: Pengujian dilakukan sebanyak 25 kali transaksi presensi valid yang dibagi ke dalam 3 variasi kondisi kualitas sinyal Wi-Fi pesantren berdasarkan parameter *Received Signal Strength Indicator* (RSSI):
 - 1) Sinyal Kuat (RSSI antara -30 dBm hingga -60 dBm).
 - 2) Sinyal Sedang (RSSI antara -61 dBm hingga -75 dBm).
 - 3) Sinyal Lemah (RSSI antara -76 dBm hingga -90 dBm).
- b. Pengukuran waktu tundaan (*delay*) dilakukan secara otomatis dengan membandingkan catatan waktu (*timestamp*) saat tombol # pada keypad ditekan di perangkat ESP32 dengan waktu saat notifikasi pesan berdering dan diterima di aplikasi Telegram ponsel pengurus. Selisih waktu kedua pencatatan tersebut dicatat langsung menggunakan stopwatch digital presisi.
- c. Indikator Keberhasilan: Pengiriman notifikasi dinyatakan Berhasil jika *Delivery Rate* mencapai 100% (semua pesan terkirim) dengan rata-rata *delay* transmisi di bawah 5 detik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Implementasi Perangkat

Sistem Presensi Santri Berbasis ESP32 Menggunakan RFID dan PIN Dinamis yang terintegrasi dengan Telegram telah berhasil dirangkai dan diuji coba di Pondok Pesantren Baitussyakirin Brangsong Kendal.

- a. Implementasi Perangkat Keras (*Hardware*): Seluruh komponen elektronik (ESP32 DevKit V1, Modul RFID MFRC522, LCD 16x2 I2C, Keypad 4x4, dan Buzzer 5V) terhubung secara stabil menggunakan daya 5V DC via kabel USB.
- b. Implementasi Perangkat Lunak (*Software*): Kode program C++ berhasil diunggah ke ESP32 melalui Arduino IDE. ESP32 mampu terhubung ke jaringan Wi-Fi lokal pesantren, melakukan eksekusi pembacaan RFID, meng-generate angka PIN acak 4-digit secara instan, serta berkomunikasi dua arah dengan API Bot Telegram.

4.2. Hasil Pengujian Perangkat Keras dan Fungsionalitas

4.2.1. Pengujian Jarak Pembacaan Modul RFID MFRC522

Tabel 5. Pengujian RFID MFRC522

Jarak Kartu ke Reader (cm)	Jumlah Percobaan	Kondisi Penghalang	Status Pembacaan	Waktu Respons (detik)
0.0 cm	10 kali	Tanpa Penghalang	Berhasil	< 0.3 detik
1.0 cm	10 kali	Tanpa Penghalang	Berhasil	< 0.3 detik
2.5 cm	10 kali	Tanpa Penghalang	Berhasil	~ 0.4 detik
4.0 cm	10 kali	Tanpa Penghalang	Gagal	-
1.0 cm	10 kali	Plastik Dompot Kartu	Berhasil	~ 0.4 detik
1.0 cm	10 kali	Baham Kain Saku	Berhasil	~ 0.5 detik

Pembahasan: Modul RFID MFRC522 bekerja sangat optimal pada jarak 0–2.5 cm. Pembacaan tetap berhasil meskipun kartu berada di dalam dompet atau saku kain santri, namun gagal jika jarak melebihi 3.5 cm.

4.2.2. Pengujian Keamanan PIN Dinamis dan Keypad 4x4

Tabel 6. Pengujian PIN dan Keypad

Skenario Pengujian	Jumlah Percobaan	Pin Tampil di LCD	Pin Diinput di Keypad	Waktu Ketik	Respon Buzzer dan LCD	Status Absensi
PIN Tepat dan Tepat Waktu	10 Kali	4819	4819#	3.2 Detik	Beep Pendek, “PIN BENAR”	Valid
PIN Salah Input	10 Kali	7204	7864#	4.1 Detik	Beep Panjang, “PIN SALAH”	Ditolak
Melewati Batas Waktu	10 Kali	1354	Tidak diketik	> 8 Detik	Beep Panjang, “WAKTU HABIS”	Ditolak

Pembahasan: Pengujian membuktikan bahwa sistem 100% menolak absensi jika PIN yang diketikkan tidak sesuai dengan kode acak yang muncul di LCD atau jika durasi pengisian melebihi 8 detik. Hal ini secara efektif memaksa santri hadir secara fisik di depan alat saat kartu di-tap.

4.2.3. Pengujian Pengiriman Notifikasi Bot Telegram (*Quality of Service*)

Tabel 7. Pengujian Telegram

Sinyal Wi-Fi	Jumlah Percobaan	Status Pengiriman	Delay Notifikasi	Keterangan Format Pesan
Kuat (-55 dBm)	5 Kali	Berhasil	1.2 Detik	Pesan Utuh (UID + <i>Timestamp</i>)
Kuat (-58 dBm)	5 Kali	Berhasil	1.4 Detik	Pesan Utuh (UID + <i>Timestamp</i>)
Sedang (-72 dBm)	5 Kali	Berhasil	2.1 Detik	Pesan Utuh (UID + <i>Timestamp</i>)
Sedang (-75 dBm)	5 Kali	Berhasil	2.8 Detik	Pesan Utuh (UID + <i>Timestamp</i>)
Lemah (-88 dBm)	5 Kali	Berhasil	4.6 Detik	Pesan Utuh (UID + <i>Timestamp</i>)
Rata-rata		100% Sukses	2,42 Detik	

Pembahasan: Rata-rata waktu tundaan (*delay*) pengiriman notifikasi ke Bot Telegram di Pondok Pesantren Baitussyakirin adalah 2.42 detik. Kecepatan pengiriman sangat dipengaruhi oleh kualitas sinyal Wi-Fi yang diterima oleh ESP32.

4.3. Pembahasan Sistem

Berdasarkan hasil pengujian eksperimental pada sistem presensi santri di Pondok Pesantren Baitussyakirin Brangsong Kendal, dilakukan analisis kritis terhadap kinerja perangkat keras, skema keamanan *Two-Factor Authentication* (2FA), serta performa transmisi data berbasis *Internet of Things* (IoT).

- Pengujian menunjukkan bahwa modul RFID MFRC522 memiliki jarak baca efektif maksimum pada rentang 0–2,5 cm, dan mengalami kegagalan pembacaan (*drop-out*) secara total saat jarak mencapai 4 cm. Kegagalan pembacaan pada jarak 4 cm tersebut bukan disebabkan oleh kesalahan perangkat lunak, melainkan oleh keterbatasan karakteristik fisik induksi medan elektromagnetik pada frekuensi *High Frequency* (HF) 13,56 MHz. Modul MFRC522 beroperasi berdasarkan prinsip induksi medan magnet jarak dekat (*near-field magnetic induction coupling*). Tag RFID pasif yang digunakan tidak memiliki catu daya internal, melainkan mengandalkan arus induksi yang dipicu oleh kumparan antena pada modul pembaca. Pada jarak di atas 3,5 cm, kerapatan fluks medan magnet mengalami penurunan drastis secara eksponensial seiring bertambahnya jarak, sehingga daya induksi yang dihasilkan tidak lagi mencukupi untuk mengaktifkan cip (*microchip*) pada tag pasif.

Meskipun demikian, sistem menunjukkan toleransi penetrasi yang andal terhadap penghalang *non-logam* seperti dompet sintetis dan saku kain busana santri pada jarak 0–2 cm. Hal ini mengonfirmasi bahwa bahan tekstil dan plastik memiliki sifat permeabilitas magnetik yang sangat mirip dengan udara bebas, sehingga tidak meredam gelombang radio frekuensi 13,56 MHz secara signifikan. Temuan ini

memvalidasi bahwa sistem sangat praktis untuk penggunaan harian tanpa menuntut santri mengeluarkan kartu dari dompet.

- b. Kelemahan utama dari sistem presensi RFID faktor tunggal (*single-factor*) yang diteliti oleh Syahputra dan Santoso adalah kerentanannya terhadap praktik titip absen (*buddy punching*), di mana satu santri dapat membawa banyak kartu untuk melakukan presensi rekan-rekannya. Penerapan kombinasi kartu RFID dan PIN Dinamis 4-digit berbasis *timeout* 8 detik terbukti 100% efektif mengatasi celah keamanan tersebut [13].

Secara teknis, random number generator pada ESP32 memproduksi kombinasi PIN acak bersifat sementara (*ephemeral*) yang hanya ditampilkan pada layar LCD lokal selama 8 detik. Mekanisme ini menciptakan keterikatan validasi ruang dan waktu (*spatiotemporal binding*). Santri pemilik kartu diwajibkan secara mutlak hadir secara fisik di depan perangkat untuk membaca layar LCD dan memasukkan PIN melalui *keypad* sebelum durasi timeout habis. Penolakan otomatis sistem terhadap PIN yang salah (LCD: "PIN SALAH") maupun durasi yang kadaluwarsa (LCD: "WAKTU HABIS") terbukti menutup celah kecurangan titip absen secara total di lingkungan pesantren.

- c. Hasil pengujian transmisi data menunjukkan bahwa *delay* pengiriman notifikasi dari ESP32 ke Bot Telegram pengurus memiliki nilai rata-rata 2,42 detik pada kondisi jaringan stabil. Namun, terjadi peningkatan *delay* yang signifikan seiring melemahnya kualitas sinyal Wi-Fi. Secara kritis, hal ini dipengaruhi oleh mekanisme pembentukan koneksi terenkripsi HTTPS menggunakan library *WiFiClientSecure*. Saat ESP32 mengirimkan data ke Telegram API (Port 443), mikrokontroler harus melakukan proses handshake SSL/TLS untuk memverifikasi sertifikat keamanan (*Cipher Suite*). Pada kondisi sinyal lemah dengan nilai *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) di bawah -78 dBm, tingkat *packet loss* pada lapisan *transport* (TCP) meningkat, yang memicu proses transmisi ulang (*retransmission*). Peningkatan frekuensi *retransmission* inilah yang menyebabkan *delay* membengkak hingga di atas 4,5 detik [14].

Berdasarkan analisis regresi data pengujian, sistem menetapkan ambang batas (*threshold*) kekuatan sinyal Wi-Fi minimal pada RSSI -75 dBm. Pada tingkat sinyal > -75 dBm, transmisi data dijamin berjalan dengan *delivery rate* 100% dan *delay* di bawah 3 detik. Temuan ini sejalan dengan penelitian Akbar dkk. mengenai efisiensi Telegram API, namun penelitian ini melengkapi analisis dengan memberikan batas parameter kualitatif jaringan Wi-Fi yang dibutuhkan.

4.4. Keterbatasan Sistem

Meskipun sistem presensi berbasis ESP32 ini menunjukkan performa yang andal dalam skala pengujian di Pondok Pesantren Baitussyakirin, terdapat beberapa keterbatasan teknis dan operasional yang perlu diungkapkan secara ilmiah:

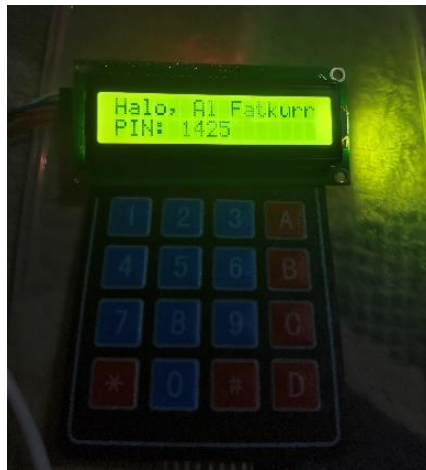
- a. Ketergantungan Mutlak pada Koneksi Wi-Fi Lokal: Sistem ini dirancang untuk mengirimkan data presensi secara langsung (*real-time*) ke server Telegram API via protokol HTTPS. Saat ini, perangkat belum dilengkapi dengan mekanisme penyimpanan sementara (*local buffer memory*) seperti modul SD Card atau *Non-Volatile Storage* (NVS/EEPROM) ESP32 untuk memenjara data presensi. Apabila koneksi Wi-Fi pesantren terputus (*offline*), data presensi yang di-tap pada durasi tersebut tidak dapat terkirim dan berisiko hilang.
- b. Keterbatasan Daya Tahan Fisik Kemasan (*Enclosure*): Kotak pelindung (*casing*) perangkat keras yang digunakan saat ini masih memanfaatkan material kardus (*cardboard*) sederhana berbasis prototipe tingkat awal, sehingga belum memenuhi standar ketahanan industri maupun sertifikasi *Ingress Protection* (IP Rating). Penggunaan material berbahan dasar kertas/karton ini memiliki kelemahan signifikan terhadap faktor lingkungan pesantren, seperti kerentanan terhadap kelembapan udara, risiko kerusakan fisik akibat benturan, serta kemudahan terdegradasi jika terkena percikan air. Selain itu, celah pada potong kardus memudahkan masuknya debu harian ke sela-sela komponen elektronik dan *keypad matriks*, yang berpotensi mengurangi sensitivitas mekanis tombol serta memicu ketidakstabilan perangkat dalam jangka panjang.
- c. Keterbatasan Kapasitas Antrean Presensi: Keberadaan validasi *Two-Factor Authentication* (2FA) dengan durasi *timeout* 8 detik membutuhkan waktu pemrosesan rata-rata 4–6 detik per santri. Pada jam-jam puncak (seperti sebelum sholat berjamaah atau awal kelas madrasah), jeda waktu transaksi ini berpotensi menimbulkan antrean fisik jika santri yang melakukan presensi berjumlah ratusan dalam satu titik lokasi alat.

4.5. Tampilan Absensi dan Notifikasi

Berikut adalah tampilan sistem absensi di layar LCD 16x2 I2C dan Notifikasi Absensi di Telegram:



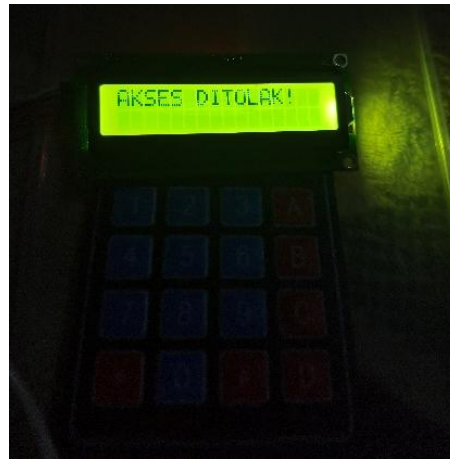
Gambar 3. Tampilan Awal Sistem Absensi



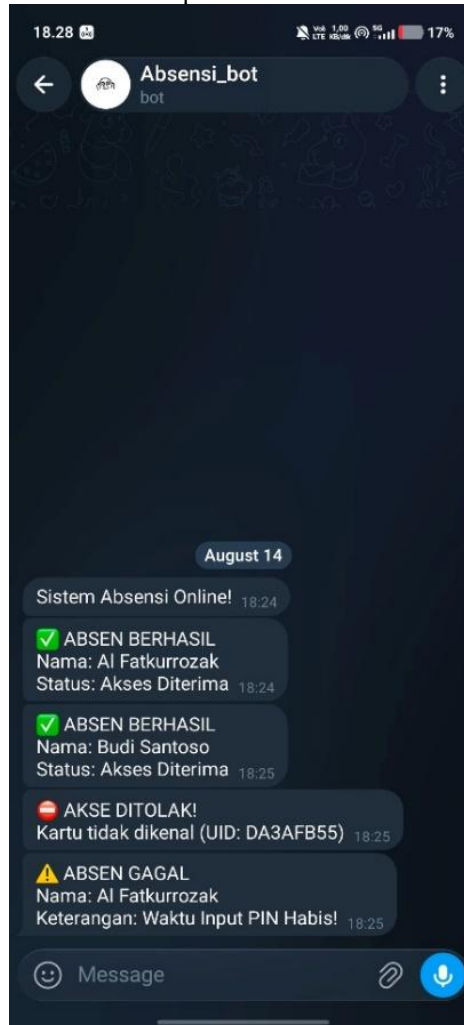
Gambar 4. Tampilan Ketika Muncul PIN Dinamis



Gambar 5. Tampilan Ketika Waktu Habis



Gambar 6. Tampilan Ketika Akses Ditolak



Gambar 7. Tampilan Notifikasi di Telegram

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Sistem presensi santri berbasis IoT di Pondok Pesantren Baitussyakirin Brangsong Kendal berhasil dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 DevKit V1, RFID MFRC522, LCD 16x2, keypad 4x4, serta buzzer dengan konsumsi daya yang efisien. Penerapan skema *Two-Factor Authentication* (2FA) melalui PIN dinamis 4-digit terbukti 100% efektif mencegah praktik titip absen dengan menolak presensi yang tidak sesuai atau melebihi *timeout* 8 detik. Selain itu, integrasi Bot Telegram API mampu mengirimkan notifikasi

kehadiran secara *real-time* kepada pengurus pesantren dengan tingkat keberhasilan 100% dan rata-rata *delay* hanya 2,42 detik pada jaringan Wi-Fi yang stabil.

Saran Untuk Penelitian Selanjutnya

Berdasarkan keterbatasan sistem yang telah diidentifikasi, beberapa rekomendasi yang dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

- Penambahan Fitur Offline Logging: Mengintegrasikan modul MicroSD *Card* atau memanfaatkan memori SPIFFS/NVS internal ESP32 sebagai buffer penyimpanan sementara data presensi saat jaringan terputus, dilengkapi mekanisme sinkronisasi otomatis (*auto-resend*) ketika Wi-Fi kembali terhubung.
- Peningkatan Desain Kemasan (Industrial Enclosure): Menggunakan casing standar IP65/IP66 yang kedap debu dan percikan air untuk melindungi komponen elektronik ESP32, LCD, dan modul RFID dari kondisi lingkungan pesantren yang berdebu atau lembap.
- Penerapan Multi-Node Reader: Mengembangkan arsitektur Master-Slave dengan menambah unit pembaca RFID/*Keypad* terdistribusi pada beberapa titik pintu masuk untuk membagi beban antrian presensi santri pada jam-jam sibuk.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Pengasuh dan Pengurus Pondok Pesantren Baitussyakirin, Brangsong, Kendal yang telah memberikan izin, fasilitas, serta dukungan penuh selama pelaksanaan penelitian dan pengujian sistem absensi ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Dosen Pembimbing atas bimbingan, arahan, dan sarannya. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif bagi kemajuan digitalisasi di lingkungan pesantren.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Y. Pangkong, J. O. Kalangie, O. O. Mathindas, C. Tumbelaka, dan C. Y. Tendean, “Rancang Bangun Smart Presensi Mata Kuliah Berbasis Internet of Things Terintegrasi Website,” *FIMERKOM J. Inf. Syst. Technol.*, vol. 3, no. 1, hal. 29–42, 2026, doi: 10.66785/fimerkom.v3i1.186.
- [2] M. A. A. Zainudin *et al.*, “Penerapan Sistem Presensi Pintar dengan Fingerprint Berbasis IoT untuk Mendukung Digitalisasi Manajemen Kehadiran Siswa,” *JATTEC- J. Appropri. Technol. Community Serv.*, vol. 7, no. 2, hal. 161–169, 2026, doi: 10.20885/jattec.vol7.iss2.art8.
- [3] M. F. Alfarezy, M. R. Pasri, Y. J. Indah, dan D. Febriyanti, “Sistem Absensi Berbasis IoT Menggunakan ESP32 dengan Integrasi Web,” *J. SINTIKA*, vol. 2, no. 1, hal. 24–31, 2026, doi: 10.65359/w60jvx92.
- [4] M. B. Alwi, R. Medistarani, A. T. Kamila, R. T. Sarwanti, dan Susilawati, “PENGEMBANGAN SISTEM ABSENSI MAHASISWA BERBASIS IOT DENGAN INTEGRASI RFID DAN TELEGRAM,” *JITET (Jurnal Inform. dan Tek. Elektro Ter.)*, vol. 14, no. 1, hal. 382–389, 2026, doi: 10.23960/jitet.v14i1.8379.
- [5] A. Azkiya, M. B. P. Ichsan, N. A. P. F. Hasibuan, R. Andrianti, dan I. Maulana, “Analisis Sistem Autentikasi Dua Faktor (2FA) Dan Efektivitasnya Dalam Meningkatkan Keamanan Akses,” *JIKUM J. Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 2, hal. 196–202, 2026, doi: 10.62671/jikum.v2i2.175.
- [6] A. Satrani, D. O. Resminanta, M. Maulana, K. Agustina, dan G. Y. Pratama, “Implementation Anti-Fraud Security on Smart Campus Attendance System Using Face Recognition Liveness Detection and Anti-Fake GPS Geofencing,” *J. Teknol. Inf. dan Multimed.*, vol. 8, no. 3, hal. 627–636, 2026, doi: 10.35746/jtim.v8i3.1057.
- [7] A. I. Ali Mashudi dan A. Prihanto, “Rancang Bangun Sistem Keamanan Pintu Menggunakan Metode Two-Factor Authentication,” *J. Informatics Comput. Sci.*, vol. 6, no. 3, hal. 630–638, 2024, doi: 10.26740/jinacs.v6n03.p630-638.
- [8] B. Handoyo dan I. Iqbal, “IoT Based Fire Early Warning System Using ESP32 and Telegram with Multi Sensor Integration,” *Sisfo J. Ilm. Sist. Inf.*, vol. 10, no. 1, hal. 252–260, 2026, doi: 10.29103/sisfo.v10i1.27142.
- [9] S. Puspitasari, A. Munazilin, dan F. Lazim, “Rancang Bangun Smart Home Berbasis Mikrokontroler ESP 32 dan Blynk,” *J. Ilmu Komput.*, vol. 4, no. 2, hal. 122, 2024, doi: 10.31314/juik.v4i2.3289.
- [10] F. I. Khoir, “Implementasi Pengaman Pintu Terintegrasi dengan Kartu Anggota pada Ruang Sekretariat Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Pamulang,” *J. Publ. Tek. Inform.*, vol. 4, no. 3, hal. 131–147, 2025, doi: 10.55606/juipi.v4i3.5327.
- [11] M. Rizal Fitriani dan D. Ogi, “Implementasi RFID dan Optical Character Recognition (OCR) pada Prototipe Sistem Gerbang Otomatis,” *Info Kripto*, vol. 19, no. 1, hal. 1–12, 2025, doi:

- 10.56706/ik.v19i1.115.
- [12] B. S. Zalukhu, F. Laoli, E. F. Harefa, K. A. S. Harefa, A. N. Sarumaha, dan J. Waruwu, "Implementasi Bot Telegram untuk Monitoring dan Pelaporan Ticket Gangguan Jaringan Telekomunikasi," *J. ALTIFANI*, vol. 6, no. 4, hal. 2307–2317, 2026, doi: 10.59395/altifani.v6i4.1384.
- [13] M. Syahputra dan A. I. Santoso, "Rancang Bangun Sistem Absensi Otomatis Berbasis RFID Dan ESP32 Di Kampus AMIK Polibisnis Perdagangan," *J. Minfo Polgan*, vol. 14, no. 1, hal. 614–622, 2025, doi: 10.33395/jmp.v14i1.14816.
- [14] A. M. Akbar, W. Fuadi, dan Nunsina, "Design of Attendance System for Informatics Engineering Lecturers Using RFID Sensors Based on IoT and Telegram Applications," *Int. J. Eng. Sci. Inf. Technol.*, vol. 5, no. 2, hal. 107–117, 2025, doi: 10.52088/ijesty.v5i2.794.
- [15] M. Waruwu, "Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D): Konsep, Jenis, Tahapan dan Kelebihan," *J. Ilm. Profesi Pendidik.*, vol. 9, no. 2, hal. 1220–1230, 2024, doi: 10.29303/jipp.v9i2.2141.