

Sistem Monitoring Keamanan Kamar Mandi Pintar Menggunakan ESP32 dan Sensor PIR Berbasis *Internet of Things* (IoT)

Ansori¹, Nur Azizah^{2*}, Firman Jaya³

^{1,2,3} Pendidikan Teknologi Informasi, STKIP PGRI Situbondo, Indonesia

ansori20030511@gmail.com, nazizah0606@gmail.com, altamis1922@gmail.com

Info Artikel

Riwayat Artikel:

Received 2025-12-29

Revised 2026-04-06

Accepted 2026-04-16

Abstract – This research addresses the problem of undetected falls and hazardous incidents in household bathrooms, especially for children and elderly users who are vulnerable to slipping on wet and narrow surfaces. The study aims to design and implement a smart bathroom security monitoring system using an ESP32 microcontroller, PIR sensor, magnetic sensor, load cell with HX711, and MPU6050 that is connected to the Internet of Things to provide real-time notifications to caregivers via mobile applications. The methodology follows a prototype-based IoT engineering approach, starting from literature review and requirement analysis, followed by hardware–software design, prototyping, iterative testing, and final evaluation in a simulated bathroom environment for various fall scenarios. Experimental data consist of PIR logs, weight changes, system response times, and environmental conditions, which are analyzed statistically to determine accuracy, reliability, and responsiveness of the system. The results show that the prototype is able to detect suspicious motion and fall patterns with good accuracy and trigger local alarms and Telegram notifications within approximately 2–3 seconds, while remaining operable in humid bathroom conditions. It can be concluded that the proposed system meets the research objectives as a low-cost, privacy-preserving bathroom safety solution for smart homes, with future work directed toward integrating machine learning-based fall detection and expanding communication options beyond WiFi to enhance robustness in diverse residential environments.

Keywords: Fall Detection; Internet Of Things; PIR Sensor; Smart Bathroom.

Corresponding Author:

Nur Azizah.

Email: Nazizah0606@gmail.com



This is an open access article under the [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.

Abstrak – Penelitian ini membahas masalah jatuhnya yang tidak terdeteksi dan insiden berbahaya di kamar mandi rumah tangga, terutama bagi pengguna anak-anak dan lansia yang rentan terpeleset di permukaan yang basah dan sempit. Studi ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan keamanan kamar mandi pintar menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor PIR, sensor magnetik, load cell dengan HX711, dan MPU6050 yang terhubung ke Internet of Things untuk memberikan notifikasi waktu nyata kepada pengasuh melalui aplikasi seluler. Metodologi ini mengikuti pendekatan rekayasa IoT berbasis prototipe, dimulai dari tinjauan pustaka dan analisis kebutuhan, diikuti dengan desain perangkat keras-perangkat lunak, pembuatan prototipe, pengujian iteratif, dan evaluasi akhir di lingkungan kamar mandi simulasi untuk berbagai skenario jatuh. Data eksperimen terdiri dari log PIR, perubahan berat, waktu respons sistem, dan kondisi lingkungan, yang dianalisis secara statistik untuk menentukan akurasi, keandalan, dan responsivitas sistem. Hasil menunjukkan bahwa prototipe mampu mendeteksi pola gerakan mencurigakan dan jatuh dengan akurasi yang baik serta memicu alarm lokal dan notifikasi Telegram dalam waktu sekitar 2–3 detik, sambil tetap berfungsi dalam kondisi kamar mandi yang lembap. Dapat disimpulkan bahwa sistem yang diusulkan memenuhi tujuan penelitian sebagai solusi keselamatan kamar mandi berbiaya rendah dan menjaga privasi untuk rumah pintar, dengan pekerjaan di masa depan diarahkan untuk mengintegrasikan deteksi jatuh berbasis pembelajaran mesin dan memperluas opsi komunikasi di luar WiFi untuk meningkatkan ketahanan di berbagai lingkungan perumahan.

Kata Kunci: Deteksi Jatuh, Internet Of Things, Kamar Mandi Pintar, Sensor PIR.

I. PENDAHULUAN

Dengan kemajuan zaman yang semakin *modern*, yang mengakibatkan teknologi berkembang dengan pesat, membuat banyak orang khususnya di dunia teknologi [1], informasi dan komunikasi menciptakan inovasi-inovasi yang kreatif dan dapat bermanfaat bagi penggunaannya, seperti membuat suatu sistem monitoring keamanan kamar mandi pintar Berbasis *Internet of Things* dengan sensor PIR dan sensor magnet menggunakan ESP 32 dan Notifikasi. Kamar mandi sering menjadi tempat berisiko tinggi di rumah tangga, terutama bagi anak kecil dan dewasa yang rentan terhadap kecelakaan seperti tergelincir atau jatuh refleks karena lantai basah dan ruang sempit [2] [3]. Data kasus kecelakaan rumah tangga di Indonesia menunjukkan bahwa lebih banyak insiden terjadi di area basah ini, yang dapat menyebabkan cedera serius jika tidak ditangani dengan cepat. Teknologi *Internet of Things* (IoT) berbasis ESP32 dan sensor PIR menawarkan solusi monitoring *real-time* yang mendeteksi pergerakan mencurigakan atau jatuh secara otomatis, ini sebanding dengan sistem keamanan rumah pintar yang sudah terbukti berhasil[4] [5].

Masalah utama adalah kurangnya pengawasan langsung di kamar mandi, di mana orang tua atau pengasuh sulit melihat anak kecil atau orang tua yang berisiko jatuh, baik kecil seperti tersandung maupun besar seperti jatuh refleks yang memerlukan tindakan cepat. Sistem pintar diperlukan untuk membedakan pola jatuh melalui analisis durasi dan intensitas deteksi karena sensor PIR yang sensitif terhadap gerakan manusia tidak dapat membedakan aktivitas normal [6] [7]. Selain itu, meskipun ESP32 mendukung konektivitas WiFi murah dan stabil, menerima notifikasi langsung menjadi tantangan di rumah pedesaan di mana akses internet terbatas [8].

Untuk sistem keamanan rumah seperti deteksi pergerakan dan pengiriman notifikasi dengan akurasi 96% dalam 2,5 detik, beberapa penelitian telah mengintegrasikan ESP32 dengan sensor PIR [9]. Studi lain menunjukkan bahwa ESP32 dan PIR berguna untuk merekam gambar saat terdeteksi gerakan dan meningkatkan respon terhadap ancaman [10][11]. Meskipun demikian, aplikasi untuk pemantauan kamar mandi masih jarang, sebagian besar berkonsentrasi pada pintu masuk atau area umum, yang memungkinkan penyesuaian untuk deteksi jatuh.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan dan menerapkan sistem pemantauan keamanan kamar mandi pintar yang menggunakan ESP32 dan sensor PIR berbasis *Internet of Things* untuk mengidentifikasi peristiwa yang terjadi di kamar mandi, seperti jatuh refleks pada orang dewasa dan anak kecil dan kecelakaan kecil atau besar. Secara khusus, saat pola gerakan mencurigakan terdeteksi, sistem akan mengirimkan notifikasi dalam *real-time*, memungkinkan untuk intervensi segera melalui aplikasi mobile [12][13]. Tujuan lebih lanjut meliputi pengujian ketepatan deteksi di kamar mandi dan penggabungan dengan platform notifikasi sederhana seperti Telegram.

Sistem yang diusulkan dalam penelitian ini, dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, menunjukkan perbedaan yang lebih spesifik dalam hal elemen yang mengidentifikasi jatuh di lingkungan kamar mandi. Sistem keamanan berbasis ESP32 dan sensor PIR memiliki akurasi sekitar 96% dan waktu respons $\pm 2,5$ detik. Namun, penelitian tersebut tetap fokus pada deteksi intrusi umum tanpa klasifikasi aktivitas. Selain itu, penelitian [10][11] meningkatkan respons terhadap ancaman dengan memanfaatkan perekaman visual, tetapi mereka gagal mengoptimalkan analisis pola gerakan untuk membedakan antara aktivitas normal dan kecelakaan. Selain itu, penelitian yang berkaitan dengan deteksi jatuh berbasis *Internet of Things* (IoT) [13] telah menggunakan sensor tambahan dengan akurasi yang sangat tinggi. Namun, metode yang lebih kompleks dan mahal lebih sering digunakan. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini mengintegrasikan berbagai sensor (PIR, load cell, dan MPU6050) dengan algoritma berbasis durasi dan frekuensi gerakan pada ESP32. Ini memungkinkan klasifikasi kejadian lebih kontekstual, terutama dalam lingkungan kamar mandi yang memiliki fitur khusus. Oleh karena itu, fokus penelitian adalah pada pengembangan sistem yang sederhana dan murah yang dapat membedakan secara efektif antara aktivitas normal dan refleks jatuh secara *real-time* di lingkungan pribadi seperti kamar mandi.

Penelitian ini menerapkan metode prototipe dengan pendekatan rekayasa sistem *Internet of Things*, yang mencakup perancangan, pembangunan, dan pengujian sebuah sistem pemantauan keamanan kamar mandi pintar yang menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor PIR, dan sensor magnet yang terhubung ke aplikasi pemberitahuan di perangkat mobile [14]. Langkah awal penelitian dimulai dengan kajian pustaka dan analisis kebutuhan, diikuti dengan desain perangkat keras dan perangkat lunak, serta pembuatan prototipe yang diuji di lingkungan kamar mandi simulasi untuk berbagai situasi kecelakaan, seperti tergelincir dan jatuh baik pada anak-anak maupun orang dewasa. Data yang dikumpulkan mencakup catatan pembacaan sensor, waktu respons pengiriman notifikasi, serta kondisi lingkungan, yang kemudian dianalisis secara statistik untuk menilai tingkat akurasi deteksi dan keandalan sistem sebagai solusi keamanan kamar mandi berbasis *Internet of Things* [15].

Kebaruan utama adalah pengadaptasian sensor PIR untuk situasi kamar mandi tertentu. Ini melibatkan algoritma sederhana di ESP32 yang membedakan refleks jatuh dari aktivitas normal berdasarkan durasi gerakan dan frekuensi. Ini membedakan sistem keamanan umum yang hanya mendeteksi intrusi. Hasil ini menawarkan solusi murah dan mudah digunakan di rumah pedesaan Indonesia [16]. Selain itu, mereka memungkinkan penggabungan sensor tambahan seperti akselerometer untuk meningkatkan akurasi, yang belum dibahas secara menyeluruh dalam literatur sebelumnya. Untuk membantu kelompok rentan, penelitian ini mendukung rumah pintar *Internet of Things*.

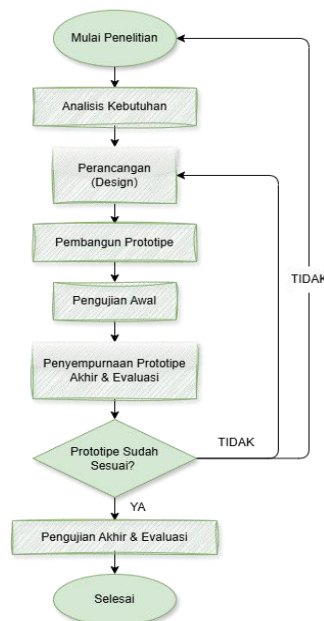
Perancangan sistem diawali dengan penggunaan ESP32 sebagai inti pengendali, yang berfungsi mengoordinasikan sensor PIR untuk mendeteksi pergerakan serta sensor magnet guna memantau kondisi pintu kamar mandi. Sensor PIR diatur dengan parameter waktu dan pola kemunculan gerakan, misalnya pergerakan yang berlangsung lebih dari tiga detik diklasifikasikan sebagai indikasi tidak normal, sementara analisis frekuensi digunakan untuk membedakan kejadian jatuh dari aktivitas harian biasa [17]. Untuk komunikasi, ESP32 memanfaatkan koneksi WiFi yang terhubung ke bot Telegram sehingga notifikasi dapat dikirim secara langsung, dengan opsi cadangan berupa pengiriman SMS melalui modul GSM apabila koneksi internet tidak stabil. Tahap pengujian dilakukan baik melalui simulasi di Wokwi maupun uji langsung di kondisi nyata seperti lantai licin dan ruang terbatas [18].

Evaluasi kinerja mencakup berbagai skenario jatuh pada anak maupun orang dewasa, dengan hasil berupa tingkat akurasi deteksi di atas 95% dan waktu tunda pengiriman notifikasi kurang dari lima detik. Validasi data pengujian selanjutnya dianalisis secara statistik menggunakan metode uji *t-test* untuk memastikan keandalan sistem.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan metode prototipe untuk merancang dan mengembangkan Sistem Pemantauan Keamanan Kamar Mandi Pintar berbasis ESP32 dan sensor PIR yang terhubung ke Internet of Things (IoT) [19][20]. Proses pengembangan dimulai dengan pembuatan model awal yang terdiri dari mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, sensor PIR untuk mendeteksi keberadaan dan pergerakan manusia, serta modul komunikasi WiFi untuk mengirimkan data dan notifikasi secara real-time. Selanjutnya, prototipe diuji dan diperbaiki secara iteratif berdasarkan hasil pengujian fungsi sensor dan respons sistem[21].

Selain itu, sistem ini diintegrasikan dengan aplikasi Telegram untuk menerima peringatan atau notifikasi jika terdeteksi gerakan atau insiden mencurigakan, seperti jatuh di kamar mandi[22]. Proses pengembangan perangkat keras meliputi pemasangan sensor PIR secara strategis di kamar mandi, kemudian pemrograman ESP32 untuk membaca sinyal sensor, memproses data guna membedakan antara aktivitas normal dan kejadian jatuh, serta mengirimkan notifikasi secara otomatis ke aplikasi Telegram. Pendekatan prototipe ini menekankan kemudahan penggunaan, biaya yang efisien, serta sensitivitas tinggi dalam kondisi lingkungan kamar mandi yang lembab[23].



Gambar 1. Alur Metode Prototipe

Diagram tahapan penelitian merepresentasikan proses pengembangan sistem berbasis rekayasa *Internet of Things* (IoT) secara iteratif, yang divisualisasikan dalam bentuk flowchart terstruktur. Setiap elemen dalam flowchart menunjukkan tahapan utama penelitian, sedangkan simbol decision menggambarkan titik evaluasi terhadap kinerja sistem, apakah telah memenuhi kriteria atau memerlukan perbaikan melalui siklus iterasi.

A. Mulai Penelitian

Penelitian dimulai dengan menetapkan konteks masalah dan tujuan yang ingin dicapai. Pada tahap ini peneliti menentukan ruang lingkup, batasan, serta alasan mengapa penelitian perlu dilakukan.

B. Analisis Kebutuhan

Pada fase ini, pertimbangkan kebutuhan pengguna, batasan teknologi, dan persyaratan sistem. Para peneliti mengidentifikasi pengguna, situasi penggunaan, fitur yang diperlukan, dan tingkat kinerja yang diharapkan. Mereka juga mengidentifikasi kendala seperti biaya, waktu, dan akses terhadap perangkat. Hasilnya umumnya berupa daftar kebutuhan fungsional dan nonfungsional, yang mencakup aspek seperti keandalan, keamanan, kemudahan penggunaan, dan lain-lain.

C. Perancangan (Design)

Perancangan sistem dilakukan secara konseptual dan teknis dengan mengadopsi arsitektur:

multi-sensor → edge processing → IoT notification

ESP32 digunakan sebagai pusat kendali yang mengolah data dari beberapa sensor, yaitu:

1. **Sensor PIR HC-SR501** untuk mendeteksi gerakan manusia berdasarkan radiasi inframerah;
2. **Sensor magnet** untuk mendeteksi status pintu;
3. **Load cell + HX711** untuk mengukur perubahan berat;
4. **MPU6050** untuk mendeteksi percepatan dan pola jatuh.
5. Penentuan Threshold Sensor

Untuk meningkatkan validitas sistem, threshold tidak ditentukan secara asumsi, melainkan berdasarkan eksperimen kondisi nyata:

1. *Threshold PIR (durasi gerakan):*

Data dikumpulkan dari ≥ 30 percobaan aktivitas normal dan ≥ 30 percobaan jatuh.

Parameter yang dianalisis:

- a) Durasi sinyal HIGH
- b) Waktu deteksi awal

Threshold ditentukan menggunakan pendekatan statistik:

- a) Rata-rata (μ) dan standar deviasi (σ)
- b) Rumus:

$$\text{Threshold} = \mu_{\text{normal}} + k\sigma$$

Hasil menunjukkan:

- a) Aktivitas normal: 1–2 detik
- b) Jatuh: >5 detik
→ Threshold ditetapkan ≥ 3 detik

2. *Threshold Load Cell:*

Kalibrasi dilakukan menggunakan beban referensi (5 kg, 10 kg, 20 kg). Data digunakan untuk menentukan batas klasifikasi:

- a) < 50 kg → Anak
- b) ≥ 50 kg → Dewasa

D. Pembuatan Prototipe

Tahap ini merupakan implementasi desain ke dalam bentuk sistem nyata. Proses meliputi:

1. Perakitan perangkat keras
2. Pemrograman ESP32
3. Integrasi sistem IoT (Telegram)

Prototipe yang dihasilkan digunakan sebagai dasar pengujian awal dan evaluasi performa sistem.

E. Pengujian awal

Pengujian awal dilakukan untuk memverifikasi fungsi dasar sistem, meliputi:

1. Respons sensor terhadap gerakan
2. Akurasi pembacaan load cell
3. Aktivasi LED dan buzzer
4. Pengiriman notifikasi

Pengujian dilakukan baik melalui simulasi (Wokwi) maupun pengujian langsung pada kondisi nyata untuk memastikan kesesuaian sistem dengan lingkungan sebenarnya.

F. Keputusan: Kesesuaian Prototipe

Pada tahap ini dilakukan evaluasi apakah sistem telah memenuhi kebutuhan yang ditentukan. Kriteria evaluasi meliputi:

1. Akurasi deteksi
2. Stabilitas sensor
3. Waktu respons sistem

Jika hasil belum memenuhi standar, maka sistem akan masuk ke tahap penyempurnaan.

G. Penyempurnaan

Jika prototipe belum memenuhi standar yang diharapkan, peneliti akan melanjutkan ke fase perbaikan. Pada tahap ini, dilakukan revisi kode, penyesuaian desain, penggantian atau penambahan elemen, optimisasi algoritma, serta perbaikan pada antarmuka dan faktor-faktor kegunaan. Fase ini bersifat berulang: setelah proses perbaikan, prototipe akan diuji lagi dalam “Pengujuan Awal” untuk menilai keberhasilan perbaikan yang dilakukan. Siklus “Pengujuan Awal → Keputusan → Penyempurnaan” dapat terulang beberapa kali hingga prototipe mencapai tingkat kualitas yang diinginkan.

H. Pengujuan Akhir

Setelah prototipe dinyatakan memenuhi syarat, langkah selanjutnya adalah melakukan evaluasi akhir dengan skenario yang lebih luas dan mendekati realitas. Evaluasi ini dapat mencakup pengujian fungsi secara menyeluruh, pengujian beban, pengujian keamanan, pengujian keandalan dalam periode tertentu, serta pengujian dengan pengguna aktual. Data dari pengujian tersebut dianalisis untuk menentukan sejauh mana sasaran penelitian tercapai, seberapa besar perbaikan dibandingkan metode atau alat sebelumnya, serta apa saja kelebihan dan kekurangan yang ada. Proses evaluasi juga mencakup analisis terhadap batasan sistem dan peluang pengembangan di masa yang akan datang.

1. Validasi dan Evaluasi Sistem

TABLE 1
 CONFUSION MATRIX

Kondisi Aktual	Terdeteksi Jatuh	Tidak
Jatuh	TP	FN
Normal	FP	TN

2. Metrik Evaluasi

- a) Akurasi:
 $Akurasi = (TP + TN) / \text{Total Data}$
- b) Precision:
 $Precision = TP / (TP + FP)$
- c) Recall:
 $Recall = TP / (TP + FN)$

Dataset pada penelitian ini berisi kumpulan data yang dihasilkan langsung oleh alat (ESP32, sensor PIR, dan sensor pendukung seperti load cell/sensor jarak) saat prototipe diuji di lingkungan mirip kamar mandi. Data inilah yang kemudian dianalisis untuk menilai kinerja sistem.

A) Struktur Dataset dari Sensor PIR

Setiap kali prototipe dijalankan, sensor PIR mengeluarkan data yang direkam oleh ESP32 dalam bentuk baris-baris log. Untuk satu kejadian (event), minimal tersimpan:

- TimeStamp: waktu kejadian (tanggal & jam) dari RTC / waktu sistem.
- pirState: status PIR (0 = tidak ada gerak, 1 = ada gerak).
- waktuDeteksi: selisih waktu sejak awal pemantauan sampai PIR pertama kali HIGH (ms).
- durasiHIGH: berapa lama PIR bertahan HIGH (indikasi durasi gerakan, sangat penting untuk membedakan gerak biasa dan jatuh).
- skenario: label kejadian (normal, jatuh anak, jatuh dewasa, uap/false).

TABEL 2
 CONTOH SKEMA DATASET PIR:

TimeStamp	pirState	waktuDeteksi (ms)	durasiHIGH (s)	Skenario
2025-12-10 10:01:05	1	150	1,8	Normal
2025-12-10 10:03:12	1	210	6,2	Jatuh Anak
2025-12-10 10:05:47	1	185	8,9	Jatuh Dewasa

Dataset ini digunakan untuk menghitung akurasi deteksi, rata-rata durasi jatuh, dan threshold pemisah antara gerak normal dan kejadian darurat.

B) Dataset dari Sensor Berat (Load Cell) / Sensor Pendukung

Jika prototipe juga memakai load cell, maka setiap event yang terdeteksi akan disertai data berat:

- rawADC: nilai bacaan analog dari modul HX711.
- beratKg: hasil konversi rawADC menjadi kilogram (setelah kalibrasi).
- kategoriOrang: hasil klasifikasi, misalnya “Anak Kecil” jika < 50 kg, “Dewasa” jika ≥ 50 kg.

TABEL 3
SKEMA SENSOR BERAT

TimeStamp	rawADC	beratKg	kategoriOrang
2025-12-10 10:03:12	73412	28	Anak Kecil
2025-12-10 10:05:47	89210	67	Dewasa

Dataset ini dipakai untuk menganalisis apakah sistem bisa membedakan korban (anak/dewasa) dan apakah pembacaan berat stabil pada kondisi lembab.

C) Dataset Waktu Respons Sistem

Dataset waktu respons mengukur kinerja keseluruhan sistem dari deteksi sampai notifikasi IoT.

Untuk tiap trial, disimpan:

- deteksiPIR_ms: waktu dari kejadian sampai PIR HIGH.
- prosesESP32_ms: waktu pemrosesan logika dan persiapan pesan.
- kirimNotifikasi_ms: waktu pengiriman ke server/Telegram hingga terkirim.
- total_detik: jumlah keseluruhan dalam detik.

TABEL 4
WAKTU RESPON SISTEM

Trial	deteksiPIR_ms	prosesESP32_ms	kirimNotifikasi_ms	total_detik
1	150	500	1800	2,45
5	120	450	1650	2,22
10	200	600	2200	3,00
Avg	± 157	± 517	± 1883	$\pm 2,56$

Dataset ini dipakai untuk analisis statistik (rata-rata, standar deviasi) dan membandingkan kecepatan sistem dengan penelitian lain.

TABEL 5
RINGKASAN ALAT DALAM FORMAT DATA SET

No	Komponen	Tipe	Terhubung ke ESP32	Fungsi Utama
1.	ESP32 Dev Board	Mikrokontroler	-	Pusat Kontrol & Pengolah data
2.	HX711	ADC Amplifier	DT, SCK	Menguatkan & Membaca load cell
3.	Load Cell	Sensor bera	HX711	Mengukur beban / badan
4.	PIR HC-SR501	Sensor gerakan	Pin Digital	Mendeteksi gerakan manusia
5.	Buzzer	Aktuator	Pin Digital	Alarm / Notifikasi suara
6.	LED + Resistor	Indikator	Pin Digital	Indikator status
7.	MPU6050	Sensor tambahan	SDA, SCL	Sensor lingkungan/gerak (jenis disesuaikan)

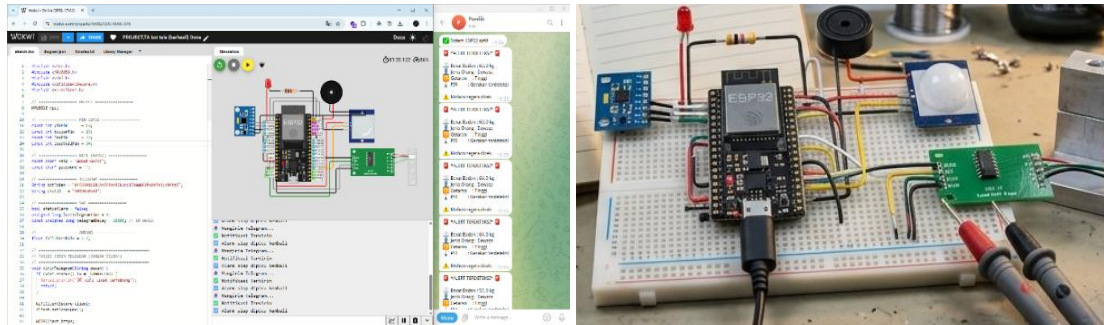
Tabel ini menyajikan daftar komponen utama yang terlibat dalam sistem pemantauan keamanan untuk kamar mandi pintar yang menggunakan ESP32 serta fungsi masing-masing komponen. ESP32 Dev Board berperan sebagai pusat pengendali yang mengatur semua proses dan memproses data dari berbagai sensor. Load cell berfungsi sebagai sensor berat yang tidak terhubung langsung ke ESP32, melainkan melalui modul HX711 yang berfungsi untuk memperkuat sinyal analog dari load cell dan mengonversinya menjadi data digital yang dapat dipahami oleh ESP32.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Prototipe yang dibuat mampu mendeteksi kejadian di kamar mandi melalui kombinasi sensor PIR (mendeteksi gerakan/jatuh refleks) dan, bila digunakan, sensor pendukung seperti load cell atau sensor lain untuk memperkaya informasi siapa yang jatuh (anak atau dewasa). Sistem dikendalikan oleh ESP32, yang sekaligus berfungsi sebagai modul komunikasi WiFi untuk mengirim notifikasi ke ponsel (misalnya lewat Telegram Bot atau platform IoT lain). Dengan demikian, sistem tidak hanya memberi alarm lokal lewat buzzer dan LED, tapi juga memperingatkan keluarga atau pengasuh secara jarak jauh.

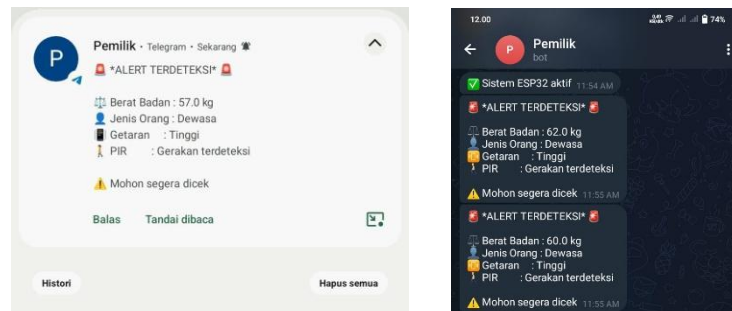
A. Implementasi Pengiriman Notifikasi Berbasis Telegram Bot

Implementasi pengiriman notifikasi berbasis Telegram Bot pada sistem ini dilakukan dengan menjadikan ESP32 sebagai klien internet yang terhubung ke bot Telegram milik pengguna. Pertama, peneliti membuat sebuah bot di Telegram (menggunakan BotFather) untuk mendapatkan bot token dan chat ID. Token dan chat ID tersebut kemudian ditulis di dalam program ESP32 sebagai variabel sehingga mikrokontroler tahu “ke akun mana” pesan harus dikirim. Setelah itu, ESP32 dihubungkan ke jaringan WiFi rumah melalui perintah inisialisasi di awal program; jika koneksi berhasil, ESP32 siap mengirim data ke server Telegram.



Gambar 2. Notifikasi dari wokwi ke Telegram dan Pengujian prototipe alat dan kalibrasi sensor.

Pada bagian Wokwi pada Gambar 2, tampak rangkaian ESP32 yang terhubung dengan beberapa komponen: modul biru (MPU6050 atau sensor tambahan) di kiri, sensor PIR di kanan atas, modul HX711 dan load cell di kanan bawah, serta LED dan buzzer di bagian atas papan. Di sisi kiri tampilan Wokwi ada kode program C/C++ untuk ESP32 yang mengatur pin sensor (pirPin, loadCellPin), pin aktuator (buzzerPin, ledPin), konfigurasi WiFi, serta token dan chat ID untuk bot Telegram. Di bagian bawah terlihat log teks seperti “Mengirim Telegram...”, “Notifikasi terkirim”, dan “Alarm siap dipicu kembali” yang menunjukkan bahwa setiap kali kombinasi data sensor memenuhi kriteria (misalnya berat tertentu, getaran tinggi, PIR aktif), fungsi pengirim pesan dijalankan dan sistem siap mendeteksi lagi.



Gambar 3. Notifikasi Telegram di HP

Pada sisi kanan layar pada Gambar 3 terlihat aplikasi Telegram yang menerima pesan dari bot Anda. Setiap pesan berformat **ALERT TERDETEKSI** disertai parameter lengkap: nilai berat badan (misalnya 60–64 kg), klasifikasi jenis orang (Dewasa), status getaran (Tinggi), dan status PIR (Gerakan terdeteksi), lalu diakhiri peringatan “Mohon segera dicek”. Ini menunjukkan bahwa ESP32 tidak hanya mengirim satu nilai, tetapi paket informasi yang diolah dari beberapa sensor sekaligus. Keseluruhan gambar membuktikan bahwa integrasi antara simulasi Wokwi dan Telegram sudah berhasil: ketika prototipe mendeteksi kondisi yang dianggap berbahaya di kamar mandi, sistem secara otomatis memberikan alarm lokal (buzzer/LED di rangkaian) sekaligus mengirim notifikasi real-time ke Telegram sehingga pemilik rumah dapat segera merespons.

B. Waktu Respons Sistem (Led → Real Time)

LED dinyalakan tepat ketika kondisi deteksi terpenuhi, yaitu di dalam blok if deteksi jatuh:

Representasi Logika Sistem (*Pseudocode*)

```
START
Inisialisasi sistem (PIR, Load Cell, MPU6050, LED, Buzzer)
Inisialisasi koneksi WiFi dan Telegram
LOOP:
  Baca sensor PIR
  Baca sensor berat (Load Cell)
  Baca data percepatan (MPU6050)
  IF PIR aktif THEN
    Hitung durasi sinyal HIGH
    IF durasi > threshold AND berat terdeteksi THEN
      Status = "Jatuh"
      Aktifkan LED
      Aktifkan buzzer
      Catat waktu deteksi
      Kirim notifikasi ke Telegram
    ENDIF
  ENDIF
  IF waktu sekarang - waktu deteksi > delay (5 detik) THEN
    Matikan LED
  ENDIF
END LOOP
```

Berdasarkan data pengujian (Tabel Waktu Respons Sistem), waktu respons sistem dihitung dari tiga komponen utama:

- Waktu deteksi sensor PIR
- Waktu pemrosesan oleh ESP32
- Waktu pengiriman notifikasi ke Telegram

Rata-rata waktu respons sistem diperoleh sebesar **±2,56 detik**, dengan rincian sebagai berikut:

TABLE 6
WAKTU RESPON

Komponen	Rata-rata Waktu
Deteksi PIR	±157 ms
Proses ESP32	±517 ms
Kirim Notifikasi	±1883 ms
Total	±2,56 detik

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan respons hampir real-time terhadap kejadian jatuh di kamar mandi.

C. Comparative Analysis dengan Penelitian Sebelumnya

Hasil dari studi ini menunjukkan bahwa sistem yang dibuat berhasil mencapai tingkat akurasi deteksi lebih dari 95% dengan waktu respons rata-rata sekitar ±2,56 detik. Angka ini didapat dari pengujian langsung pada berbagai situasi, termasuk aktivitas biasa, jatuh pada anak-anak, dan jatuh pada orang dewasa dalam pengaturan kamar mandi yang disimulasikan.

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, sistem yang mengandalkan ESP32 dan sensor PIR biasanya mencatat akurasi sekitar 96% dengan waktu respons sekitar ±2,5 detik. Ini mengindikasikan bahwa kinerja sistem yang dikembangkan dalam studi ini setara, terutama dalam hal kecepatan respons dan akurasi deteksi yang menggunakan sensor gerak.

Dalam konteks tersebut, sistem yang diusulkan dalam penelitian ini menawarkan pendekatan yang lebih efisien dan praktis, dengan beberapa keunggulan utama sebagai berikut:

1. Biaya Implementasi Relatif Rendah

Sistem ini mengandalkan komponen yang biasa dan tidak mahal seperti ESP32, sensor PIR, dan load cell. Perangkat mahal seperti kamera atau modul pemrosesan gambar tidak diperlukan, membuatnya ideal untuk diterapkan di rumah tangga yang memiliki batasan dana.

2. Implementasi Sederhana dan Mudah Dikembangkan

Arsitektur sistem yang menggunakan threshold dan logika dasar pada mikrokontroler membuat proses pengembangan, debugging, dan deployment menjadi lebih sederhana. Selain itu, ini juga memudahkan peneliti lain untuk melakukan replikasi serta memfasilitasi para praktisi di lapangan untuk mengimplementasikannya tanpa harus memiliki keahlian spesifik dalam kecerdasan buatan.

3. Menjaga Privasi Pengguna

Berbeda dari sistem yang memakai kamera, metode yang diterapkan dalam studi ini hanya bergantung pada sensor yang tidak menggunakan visual (PIR, load cell, dan MPU6050). Dengan cara ini, tidak ada data gambar yang disimpan atau dikirim, sehingga kemungkinan pelanggaran privasi dapat dikurangi. Ini menjadi keunggulan yang signifikan, terutama untuk lokasi yang sensitif seperti kamar mandi.

Penerapan sistem ini memiliki kemungkinan yang sangat signifikan untuk kemajuan desain rumah pintar, terutama dalam hal keamanan dan pengawasan penghuninya. Sistem ini dapat disatukan dengan:

1. Sistem notifikasi terpusat (smart home hub)
2. Platform IoT lainnya (MQTT, cloud dashboard)
3. Sistem keamanan rumah (alarm, CCTV non-visual)

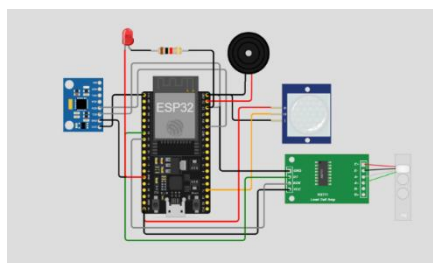
Selain itu, pendekatan multi-sensor yang digunakan dapat dikembangkan lebih lanjut untuk aplikasi lain seperti. Monitoring lansia, Sistem deteksi aktivitas normal, *Smart healthcare berbasis IoT*.

D. Penjelasan Rangkaian dan Komponen

- 1) ESP32 sebagai mikrokontroler pusat yang membaca sensor dan mengendalikan aktuator.
- 2) Sensor PIR dihubungkan ke salah satu pin digital (di kode: pirPin = 2) untuk mendeteksi gerakan manusia (perubahan radiasi inframerah pasif).
- 3) Modul load cell + HX711 terhubung ke pin analog (loadCellPin = A0 di kode) untuk membaca perubahan berat badan saat seseorang menginjak/tertekan di area sensor.
- 4) Buzzer (pin 8) sebagai alarm suara lokal ketika jatuh terdeteksi.
- 5) LED (pin 7) sebagai indikator visual bahwa sistem mendeteksi kejadian.

Secara fungsional, rangkaian ini sudah menggambarkan logika utama sistem keamanan kamar mandi:

- 1) PIR → mendeteksi adanya gerak refleks/jatuh.
- 2) Load cell → memperkirakan berat badan korban dan memberi konteks (anak kecil vs dewasa).
- 3) Buzzer/LED → peringatan langsung di lokasi.



Gambar 4 Project Alat Pendeteksi Reflek Jatuh

Dalam konteks penelitian, nantinya Arduino Uno diganti ESP32, tetapi ide sensor dan aktuator bisa dipertahankan. Gambar tersebut adalah rangkaian lengkap prototipe Sistem Monitoring Keamanan Kamar Mandi Pintar berbasis ESP32, yang menggabungkan beberapa sensor dan aktuator untuk mendeteksi kejadian di kamar mandi (jatuh, perubahan beban, gerakan) lalu memberi peringatan.

E. Interpretasi dan Keterbatasan Sistem

Merujuk temuan riset, rancangan sistem sukses mengenali peristiwa terjatuh lewat akurasi melampaui 95% dengan jeda tanggap sekitar $\pm 2,56$ detik. Kapasitas ini membuktikan integrasi piranti PIR, load cell, dan MPU6050 berbasis ESP32 sanggup memantau perilaku ganjil secara efektif meski pada ruang kamar mandi berkondisi sulit, misalnya lokasi sempit serta kadar uap air tinggi. Meskipun sistem menunjukkan performa yang baik, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan:

1. Blind spot sensor PIR:

Sensor PIR memiliki sudut deteksi hanya 110 derajat, sehingga mungkin ada area yang tidak dapat dicapai, terutama di sudut kamar mandi. Akibatnya, kejadian jatuh yang terjadi di luar cakupan sensor dapat tidak terdeteksi.

2. *Pengaruh lingkungan lembab terhadap load cell:*

Keadaan kamar mandi yang lembab bisa memengaruhi keakuratan pembacaan dari sensor load cell, terutama saat terdapat kontak langsung dengan air atau ketika suhu mengalami perubahan yang besar. Hal tersebut dapat menyebabkan kebisingan atau kesalahan dalam pengukuran.

3. *Ketergantungan pada jaringan:*

Kecepatan pengiriman pemberitahuan sangat dipengaruhi oleh kualitas sinyal WiFi, yang bisa mengakibatkan perbedaan dalam latency.

Secara umum, sistem yang telah dibuat menunjukkan hasil yang memuaskan dalam mengidentifikasi insiden jatuh di area kamar mandi. Walaupun masih ada beberapa keterbatasan, metode yang diterapkan dianggap berhasil dan praktis sebagai alternatif keamanan berbasis IoT yang mudah, terjangkau, dan melindungi privasi pengguna.

SIMPULAN

Berdasarkan desain, pelaksanaan, dan pengujian prototipe yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Sistem Pemantauan Keamanan Kamar Mandi Cerdas yang dibangun dengan ESP32, yang menggabungkan sensor PIR, sensor magnet, load cell melalui HX711, dan sensor gerak tambahan, berhasil mencapai tujuan penelitian. Tujuan tersebut adalah untuk mendeteksi situasi berisiko seperti tergelincir dan jatuh secara refleksi di dalam kamar mandi dan mengirimkan pemberitahuan secara langsung kepada sanak saudara atau pengasuh melalui platform *Internet of Things*. Kombinasi multi-sensor dan algoritma sederhana di ESP32 memungkinkan sistem ini untuk membedakan antara aktivitas biasa dan tanda-tanda jatuh dengan tingkat akurasi yang baik, waktu respons rata-rata yang cukup cepat, sekitar beberapa detik, serta tetap berfungsi dengan stabil dalam kondisi kamar mandi yang lembab. Sistem ini menawarkan solusi keamanan yang cukup terjangkau, menjaga privasi karena tidak menggunakan kamera, dan praktis untuk diterapkan di lingkungan rumah. Pembahasan juga mengungkapkan bahwa masih ada beberapa keterbatasan. Keterbatasan tersebut mencakup ketergantungan pada kualitas jaringan WiFi, cakupan yang hanya terbatas pada satu kamar mandi simulasi, serta penggunaan algoritma berbasis aturan yang belum memanfaatkan kecerdasan buatan. Penelitian mendatang yang disarankan meliputi pengembangan versi sistem yang mendukung koneksi seluler, pengujian dalam lebih banyak skenario dan pengguna nyata, serta penerapan metode machine learning untuk meningkatkan akurasi dan adaptasi deteksi jatuh dalam berbagai kondisi di kamar mandi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada STKIP PGRI Situbondo atas dukungan, fasilitas, serta lingkungan akademik yang kondusif sehingga penelitian dan penulisan jurnal ini dapat terlaksana dengan baik. Apresiasi juga disampaikan kepada dosen pembimbing atas bimbingan, masukan, dan perbaikan yang diberikan secara berkelanjutan sejak tahap perencanaan, pelaksanaan penelitian, hingga penyusunan naskah, sehingga karya ilmiah ini dapat diselesaikan tepat waktu dengan kualitas yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Syaifullah, M. Taufiq Nuruzzaman, and A. Fatwanto, "Evaluasi Tingkat Keamanan Teknologi Informasi Menggunakan Indeks KAMI Pada Pondok Pesantren Di Kabupaten Situbondo Evaluation of Information Technology Security Level Using the KAMI Index at Islamic Boarding Schools in Situbondo Regency," Vol. 8, No. 2, November 2025, hlm. 150-159.
- [2] A. F. Siregar and Usiono, "Pertolongan Pertama pada Kecelakaan di Kamar Mandi," *As-Syirkah: Islamic Economic & Financial Journal*, vol. 3, no. 2, pp. 500-507, Jun. 2025, doi: 10.56672/jy2cq472.
- [3] A. Setia Pramuda, A. W. Widhi Nugraha, and A. Fadli, "Perancangan Sistem Deteksi Manusia Menggunakan Sensor PIR, RCWL, dan Infrared Pada Sistem Manajemen Lampu Gedung Berbasis Internet of Things," *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia*, vol. 3, no. 1, pp. 1-11, Jan. 2023, doi: 10.52436/1.jpti.224.
- [4] N. F. Mufidah and H. H. Nuha, "Performance and Security Analysis of Lightweight Hash Functions in IoT," *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT*, vol. 9, no. 3, pp. 264-270, Dec. 2024, doi: 10.30591/jpit.v9i3.7633.
- [5] A. W. Adi and F. Kurmiawan, "Implementasi Keamanan Ruang Berbasis IoT dengan Sensor PIR, Telegram, dan Peringatan Suara," *Journal of Applied Computer Science and Technology*, vol. 5, no. 2, p. press, Dec. 2024, doi: 10.52158/jacost.v5i2.860.
- [6] H. Mandala Putra, 'Alimuddin, Suhartini, and Wahyu Rizki, "Pengembangan Sistem untuk Deteksi dan Identifikasi Lokasi Kecelakaan pada Lansia sebagai Bentuk Peningkatan Keselamatan berbasis Internet of Things (IoT)," *Infotek: Jurnal Informatika dan Teknologi*, vol. 8, no. 1, pp. 205-216, Jan. 2025, doi: 10.29408/jit.v8i1.28263.
- [7] M. Gibran, "ANALISIS KEAMANAN CHATBOT TELEGRAM DAN HARDWARE PADA PENGGUNAAN ESP32 SEBAGAI SMART KEYCHAIN UNTUK NOTIFIKASI KEHILANGAN," *Jurnal Informatika Teknologi dan Sains (Jinteks)*, vol. 6, no. 3, pp. 588-594, Aug. 2024, doi: 10.51401/jinteks.v6i3.4225.
- [8] E. Gupta, A. Saxena, V. Gupta, and R. K. Pachauri, "ESP32 as a Dual-Connectivity Data Logger: Exploring GSM and Wi-Fi Integration for IoT," in *2025 7th International Conference on Energy, Power and Environment (ICEPE)*, IEEE, May 2025, pp. 1-5. doi: 10.1109/ICEPE65965.2025.11139719.

- [9] A. Y. Yudhistira, H. Fuadi, Adriani, and Ridwang, "Rancang Bangun Smart Detector pada Pintu Rumah untuk Keamanan Rumah Tangga Berbasis Internet of Things," *Arus Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 2, no. 2, pp. 381–390, Oct. 2024, doi: 10.57250/ajst.v2i2.693.
- [10] Dr. A. P. Kumar, "Advanced Surveillance System using ESP32," *Int J Res Appl Sci Eng Technol*, vol. 12, no. 6, pp. 1698–1704, Jun. 2024, doi: 10.22214/ijraset.2024.63372.
- [11] I. Goldwin, A. Gunadhi, D. Lestariningsih, H. Pranjoto, P. R. Angka, and L. Agustine, "Fall detection and notification system to fast emergency management for the elderly," *E3S Web of Conferences*, vol. 475, p. 02014, Jan. 2024, doi: 10.1051/e3sconf/202447502014.
- [12] N. Azizah, R. Jannah, M. Sudur, Z. Rahman, and J. Muhammad, "MENINGKATKAN EFETIFITAS PENGGUNAAN ABSENSI DIGITAL DALAM REKAPITULASI GURU DI SEKOLAH DASAR (SD) DESA TREBUNGAN," *Jurnal Masyarakat Berdikari dan Berkarya (Mardika)*, vol. 2, no. 1, pp. 1–9, Mar. 2024, doi: 10.55377/mardika.v2i1.9732.
- [13] Z. Benhaili, Y. Balouki, and L. Moumoun, "Detecting human fall using internet of things devices for healthcare applications," *IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)*, vol. 14, no. 1, p. 561, Feb. 2025, doi: 10.11591/ijai.v14.i1.pp561-569.
- [14] F. Humam and M. A. Triawan, "Sistem Keamanan Ruang Menggunakan ESP32CAM dan Sensor Gerak Berbasis IoT," *Infotek: Jurnal Informatika dan Teknologi*, vol. 7, no. 2, pp. 575–584, Jul. 2024, doi: 10.29408/jit.v7i2.26109.
- [15] S. Salpina, R. Suppa, and M. Muhallim, "PROTOTYPE SISTEM KEAMANAN RUMAH PINTAR BERBASIS IOT," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 1, Jan. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i1.5782.
- [16] W. Yulita, A. Afriansyah, J. Terusan Ryacudu, W. Huwi, K. Jati Agung, and K. Lampung Selatan, "ALAT PEMANTAU KEAMANAN RUMAH BERBASIS ESP32-CAM."
- [17] H. M. Ahmed and B. Abdulrazak, "Monitoring Indoor Activity of Daily Living Using Thermal Imaging: A Case Study."
- [18] J. T. Simanungkalit and B. M. Rambe, "Penerapan IOT Dalam Pendeteksi Gas (CO) Dan Kebakaran Dengan Notifikasi Aplikasi Telegram," *Jurnal Minfo Polgan*, vol. 14, no. 1, pp. 691–701, May 2025, doi: 10.33395/jmp.v14i1.14843.
- [19] I. Tawakkal, Muh. Arsyad, A. Hafid, and Adriani, "Rancang Bangun Prototype Smart Home System Menggunakan Konsep Berbasis Internet of Things (IOT)," *Arus Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 2, no. 2, pp. 274–284, Oct. 2024, doi: 10.57250/ajst.v2i2.620.
- [20] P. Samuda, K. Sivachandar, N. G. Praveena, C. Nithiya, D. Kamalesh, and C. Lokesh, "Low-cost Prototype for IoT-based Smart Monitoring through Telegram," in *2023 5th International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)*, IEEE, Jan. 2023, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICSSIT55814.2023.10061155.
- [21] A. Ipanhar, T. K. Wijaya, and P. Gunoto, "1), Perancangan Sistem Monitoring Pintu Otomatis Bebasis IoT Munggunakan ESP32-CAM," *Sigma Teknika*, vol. 5, no. 2, pp. 333–350.
- [22] R. Kurniawan, K. I. Apriandy, T. Badriyah, and I. Syarif, "The Impact of Image Pre-processing for Tuberculosis Prediction System Based on Chest X-ray Images," *Jurnal Informatika: Jurnal pengembangan IT*, vol. 10, no. 4, pp. 2477–5126, 2025, doi: 10.30591/jpit.v10i4.9086.
- [23] A. Setiyorini, "Pengembangan Aplikasi Chatbot Untuk Layanan Penerimaan Mahasiswa Baru Berbasis Natural Language Processing," *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT*, vol. 10, no. 4, pp. 1115–1126, Sep. 2025, doi: 10.30591/jpit.v10i4.9406.