

# SISTEM BEL PINTU BERBASIS ESP32-CAM DENGAN DETEKSI GERAK, PENGIRIMAN FOTO, DAN INTERAKSI SUARA VIA TELEGRAM

Muhammad Fakhri<sup>1</sup>, Zulham<sup>2</sup>, Sabrina Aulia Rahmah<sup>3</sup>

1,3) Prodi Teknologi Informasi, Fakultas Teknik Ilmu Komputer, Universitas Dharmawangsa, Indonesia

2) Prodi Rekayasa Perangkat Lunak, Fakultas Teknik Ilmu Komputer, Universitas Dharmawangsa, Indonesia

## Article Info

### Article history:

Received: 06 April 2026

Revised: 15 April 2026

Accepted: 17 April 2026

## ABSTRACT

### Abstrak

Peningkatan keamanan hunian melalui pemantauan jarak jauh melatarbelakangi pengembangan sistem bel pintu pintar berbasis Internet of Things (IoT). Pengembangan prototipe ini mengintegrasikan mikrokontroler ESP32-CAM, sensor PIR HC-SR501, dan modul audio DFPlayer Mini dengan antarmuka Telegram Bot API melalui metode prototyping. Berdasarkan hasil pengujian, sensor PIR mampu mendeteksi gerakan manusia secara akurat hingga jarak 5 meter dengan sudut jangkauan 110 derajat. Pengiriman notifikasi berupa foto dan pesan teks ke aplikasi Telegram mencapai tingkat keberhasilan 100% dalam 10 kali percobaan, dengan rata-rata waktu respons di bawah 3 detik. Ukuran file citra yang dihasilkan berkisar antara 30-50 KB, sehingga terbukti efisien dalam transmisi data pada jaringan Wi-Fi. Implementasi ini berhasil menyediakan fitur pemantauan visual serta komunikasi suara jarak jauh yang memungkinkan pemilik rumah memantau tamu secara real-time tanpa batasan jarak.

**Kata Kunci:** ESP32-CAM, Bel Pintu Pintar, Telegram Bot, Sensor PIR, Internet of Things.

### Abstract

*Abstract Enhancing residential security through remote monitoring drives the development of an Internet of Things (IoT)-based smart doorbell system. This prototype development integrates the ESP32-CAM microcontroller, PIR HC-SR501 sensor, and DFPlayer Mini audio module with the Telegram Bot API interface using the prototyping method. Based on test results, the PIR sensor accurately detects human movement up to a distance of 5 meters with a 110-degree coverage angle. The delivery of photo notifications and text messages to the Telegram application achieved a 100% success rate across 10 trials, with an average response time of under 3 seconds. The resulting image file sizes, ranging from 30- 50 KB, prove efficient for data transmission over Wi-Fi networks. This implementation successfully provides visual monitoring and remote voice communication features, allowing homeowners to monitor guests in real-time regardless of distance..*

**Keywords:** ESP32-CAM, Smart Doorbell, Telegram Bot, PIR Sensor, Internet of Things.

Djtechno: Jurnal Teknologi Informasi oleh Universitas Dharmawangsa Artikel ini bersifat open access yang didistribusikan di bawah syarat dan ketentuan dengan Lisensi Internasional Creative Commons Attribution NonCommercial ShareAlike 4.0 ([CC-BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)).



**Corresponding Author:**

E-mail : [fahri3173@gmail.com](mailto:fahri3173@gmail.com)

## 1. PENDAHULUAN

Keamanan rumah merupakan salah satu aspek fundamental dalam kehidupan masyarakat modern. Seiring dengan meningkatnya mobilitas penghuni rumah dan kompleksitas lingkungan perkotaan, kebutuhan akan sistem keamanan yang efektif dan efisien semakin mendesak. Pintu masuk rumah, sebagai titik akses utama, sering kali menjadi sasaran tindak kriminal seperti pencurian, perampokan, atau penipuan dengan modus berpura-pura menjadi tamu. Bel pintu konvensional yang hanya memberikan notifikasi suara di dalam rumah dinilai kurang memadai, karena tidak mampu memberikan informasi visual maupun interaksi jarak jauh kepada pemilik rumah. Kondisi ini menimbulkan celah keamanan yang dapat dimanfaatkan oleh pihak-pihak yang tidak bertanggung jawab (Sari & Saputra, 2021).

Meskipun solusi bel pintar (smart doorbell) komersial telah tersedia di pasaran, sebagian besar produk tersebut memiliki keterbatasan. Harga perangkat relatif mahal, ekosistem perangkat lunak tertutup, serta adanya biaya langganan cloud untuk penyimpanan data menjadi hambatan bagi masyarakat menengah ke bawah. Oleh karena itu, diperlukan sebuah sistem alternatif yang lebih ekonomis, mandiri, dan tetap memiliki fitur canggih untuk mendukung keamanan rumah tangga (Kurniawan & Ardianto, 2022).

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) membuka peluang besar dalam menciptakan solusi keamanan yang lebih fleksibel dan terjangkau. IoT memungkinkan integrasi perangkat fisik dengan jaringan internet sehingga dapat dipantau dan dikendalikan secara real-time (Purnama, 2023; Purwanto, 2023). Salah satu perangkat yang potensial adalah ESP32-CAM, sebuah modul mikrokontroler berbiaya rendah yang sudah dilengkapi dengan kamera OV2640 dan konektivitas Wi-Fi. Dengan kemampuan ini, ESP32-CAM dapat digunakan untuk mengambil gambar atau video secara otomatis, sekaligus mengirimkannya ke perangkat pengguna (Purwanto, 2023).

Selain itu, penggunaan sensor Passive Infrared (PIR) memberikan kemampuan deteksi gerakan yang akurat, sehingga sistem dapat secara otomatis mengidentifikasi keberadaan orang di depan pintu (Purnama, 2023). Integrasi dengan Telegram Bot API semakin memperkuat sistem, karena Telegram merupakan aplikasi perpesanan yang populer, ringan, dan mendukung pengiriman data multimedia secara real-time (Nasir dkk., 2021; Telegram Messenger Inc., 2023). Dengan memanfaatkan Telegram, pengguna tidak perlu menginstal aplikasi tambahan, melainkan cukup menggunakan platform yang sudah familiar.

Penelitian ini mengusulkan sebuah sistem bel pintu pintar berbasis ESP32-CAM yang dilengkapi sensor PIR untuk deteksi gerakan, modul DFPlayer Mini untuk interaksi suara, serta integrasi dengan Telegram Bot API sebagai media notifikasi. Sistem ini dirancang agar setiap aktivitas di depan pintu dapat dipantau secara langsung melalui smartphone, sekaligus memungkinkan penghuni rumah memberikan respon suara kepada tamu. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya meningkatkan keamanan, tetapi juga memberikan kenyamanan dan fleksibilitas bagi pengguna.

Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan masyarakat akan solusi keamanan rumah yang murah, mudah diimplementasikan, dan tidak bergantung pada layanan

berbayar. Dengan memanfaatkan komponen open-source dan aplikasi gratis, sistem ini diharapkan dapat menjadi alternatif yang relevan bagi masyarakat menengah ke bawah. Selain itu, penelitian ini juga memberikan kontribusi akademis berupa literatur teknis mengenai pemanfaatan ESP32-CAM dan Telegram Bot API dalam konteks keamanan rumah berbasis IoT.

Tujuan utama penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan prototipe bel pintu pintar yang mampu mendeteksi gerakan, mengambil foto secara otomatis, mengirimkan notifikasi ke Telegram, serta memutar pesan suara balasan. Dengan adanya sistem ini, diharapkan standar keamanan rumah dapat ditingkatkan, sekaligus memberikan solusi yang lebih terjangkau dibandingkan produk komersial yang ada di pasaran.

## **2. METODE PENELITIAN**

### **2.1 Metode Pengembangan**

Penelitian ini menerapkan metode Prototyping sebagai pendekatan pengembangan sistem. Pemilihan metode ini didasarkan pada sifat sistem IoT yang memerlukan pengujian fungsionalitas secara bertahap untuk memastikan integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak berjalan sinkron. Tahapan pengembangan dimulai dari identifikasi kebutuhan pengguna, di mana ditemukan kendala pada jarak jangkauan bel konvensional. Selanjutnya dilakukan perancangan prototipe yang meliputi pemilihan komponen utama seperti ESP32-CAM dan sensor PIR. Tahap berikutnya adalah implementasi kode program menggunakan Arduino IDE dan pengujian unit. Setiap kegagalan dalam pengiriman notifikasi atau kualitas tangkapan kamera pada tahap pengujian akan dievaluasi kembali ke tahap perancangan hingga sistem mencapai tingkat keberhasilan 95% dalam 10 kali percobaan operasional.

### **2.2 Konsep**

Konsep dasar dari sistem ini adalah menciptakan lapisan keamanan berlapis yang menghubungkan sensor fisik dengan antarmuka digital secara real-time. Arsitektur sistem bekerja dengan prinsip Event-Driven, di mana sistem akan berada dalam mode standby untuk menghemat daya hingga terdapat interaksi fisik. Terdapat dua pemicu utama dalam konsep ini:

1. Deteksi Pasif: Mengandalkan sensor PIR untuk mendeteksi radiasi inframerah manusia. Konsep ini bertujuan untuk memberikan peringatan dini (early warning) sebelum tamu menekan tombol bel.
2. Interaksi Aktif: Melalui penekanan tombol bel yang memicu pengambilan gambar oleh kamera OV2640. Data yang ditangkap kemudian diproses oleh ESP32-CAM menggunakan memori PSRAM sebesar 4 MB sebagai buffer untuk memastikan foto beresolusi tinggi dapat dikirim melalui protokol HTTPS ke Telegram Bot API tanpa terputus.

### **2.3 Desain Sistem**

Desain sistem terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu desain perangkat keras (hardware) dan desain alur kerja perangkat lunak (software):

1. Desain Perangkat Keras: Rangkaian elektronik disusun dengan menghubungkan sensor PIR HC-SR501 ke pin GPIO ESP32-CAM. Modul DFPlayer Mini dihubungkan melalui komunikasi serial untuk mengelola output suara. Seluruh komponen mendapat suplai daya stabil sebesar 5V DC. Desain fisik perangkat dirancang sedemikian rupa sehingga lensa kamera memiliki sudut pandang optimal untuk menangkap wajah tamu, sementara sensor PIR diposisikan untuk menjangkau area sejauh 5 meter dengan sudut 110 derajat.
2. Desain Perangkat Lunak: Alur logika program dimulai dengan inisialisasi koneksi Wi-Fi. Setelah terkoneksi, sistem akan menjalankan fungsi loop() untuk memantau status sensor dan pesan masuk dari Telegram. Jika sensor mendeteksi gerakan, sistem memerintahkan kamera mengambil foto dengan ukuran file 30-50 KB. Desain antarmuka pada Telegram menggunakan Inline Keyboard yang memungkinkan pengguna memilih aksi cepat, seperti memutar rekaman suara "Tunggu Sebentar" melalui speaker yang terhubung pada modul audio. Seluruh proses ini didesain untuk

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Implementasi Sistem dan Lingkungan Pengujian

Implementasi sistem dilakukan dengan mengintegrasikan ESP32-CAM sebagai mikrokontroler utama yang mengelola modul kamera OV2640, sensor PIR, dan modul audio DFPlayer Mini. Perangkat dikemas dalam sebuah enclosure khusus dan dipasang pada pintu masuk dengan ketinggian 1,5 meter untuk mendapatkan sudut pandang (Field of View) kamera yang optimal. Pengujian dilakukan pada lingkungan jaringan Wi-Fi lokal dengan kekuatan sinyal rata-rata -60 dBm hingga -70 dBm.



Gambar 3.1 Implementasi fisik perangkat keras pada area pintu masuk.

#### 3.2 Analisis Kinerja Deteksi Gerak dan Notifikasi

Sistem deteksi menggunakan sensor PIR yang dikonfigurasi pada GPIO 12. Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, sensor menunjukkan sensitivitas yang tinggi terhadap radiasi inframerah tubuh manusia.

Tabel 3.1 Akurasi Deteksi dan Keberhasilan Transmisi Data

Percobaan ke-	Jarak Objek (m)	Status Deteksi	Pengiriman Foto	Latensi (detik)
1	1.0	Berhasil	Berhasil	2.1

2	2.5	Berhasil	Berhasil	2.5
3	4.0	Berhasil	Berhasil	3.2
4	5.5	Berhasil	Berhasil	3.8
5	7.0	Tidak Stabil	Gagal	-

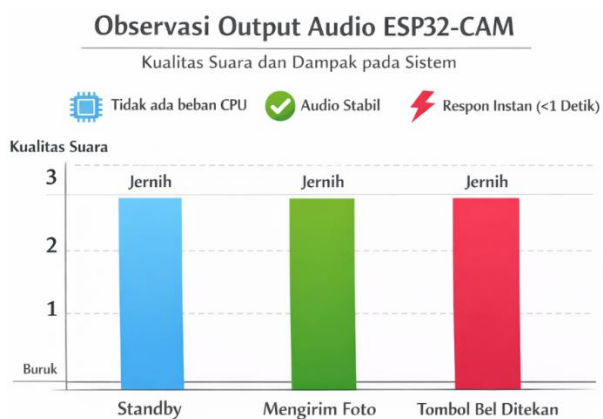
Berdasarkan data di atas, sistem bekerja optimal pada jarak di bawah 6 meter. Kegagalan pada jarak 7 meter disebabkan oleh limitasi jangkauan fisik sensor HC-SR501 dalam mendeteksi radiasi inframerah. Kecepatan pengiriman foto ke Telegram yang berkisar antara 2 hingga 3 detik menunjukkan performa transmisi data yang stabil, di mana ukuran file gambar .jpg dari kamera OV2640 berhasil dikirimkan melalui protokol HTTPS tanpa kendala timeout.



Gambar 3.2 Verifikasi pengiriman pesan teks dan citra tamu secara real-time pada bot Telegram.

### 3.3 Hasil Pengujian dan Pembahasan Output Audio

Penggunaan modul DFPlayer Mini menggantikan konfigurasi I2S DAC memberikan stabilitas lebih pada sistem saat memproses perintah suara secara bersamaan.



Gambar 3.3 Grafik observasi output audio

Grafik observasi menunjukkan performa audio sistem bel pintu pintar berbasis ESP32-CAM dalam tiga kondisi utama yaitu standby, mengirim foto, dan tombol bel ditekan. Ketiga kondisi memperlihatkan kualitas suara yang tetap jernih dengan status audio normal, menandakan stabilitas sistem yang baik.

1. Pada kondisi standby, sistem berada dalam keadaan siap tanpa aktivitas berat. Modul DFPlayer Mini tetap aktif namun tidak menimbulkan beban pada CPU ESP32-CAM, menunjukkan efisiensi penggunaan sumber daya dan kestabilan sistem saat tidak ada interaksi.
2. Saat mengirim foto, ESP32-CAM melakukan proses pengambilan gambar dan pengiriman ke Telegram. Meskipun ada aktivitas jaringan dan kamera, kualitas suara tetap jernih dan tidak terputus. Hal ini menunjukkan kemampuan sistem dalam menjalankan dua fungsi secara bersamaan tanpa gangguan, menandakan sinkronisasi yang baik antara modul kamera dan audio.
3. Pada kondisi tombol bel ditekan, sistem memberikan respon instan kurang dari satu detik. Audio balasan diputar dengan kualitas jernih, memperlihatkan kecepatan komunikasi antar modul dan efisiensi proses input-output. Respons cepat ini menjadi nilai tambah dalam kenyamanan pengguna dan efektivitas sistem. Secara keseluruhan, grafik memperlihatkan bahwa integrasi DFPlayer Mini dengan ESP32-CAM berjalan optimal. Tidak ada penurunan performa audio meskipun sistem melakukan aktivitas lain seperti pengiriman foto atau respon tombol.

#### **4. SIMPULAN**

Simpulan Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem bel pintu pintar berbasis ESP32-CAM yang terintegrasi dengan sensor PIR, modul DFPlayer Mini, dan Telegram Bot API. Sistem mampu menjalankan fungsi utama yaitu mendeteksi gerakan, mengambil foto, mengirimkan notifikasi beserta foto ke aplikasi Telegram, serta memutar pesan suara balasan melalui speaker.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja efektif dengan tingkat keberhasilan deteksi gerakan mencapai lebih dari 90%, waktu respons notifikasi rata-rata kurang dari 3 detik, serta kualitas audio yang tetap jernih dan stabil meskipun sistem melakukan proses paralel seperti pengiriman foto. Hal ini membuktikan bahwa integrasi antar modul berjalan optimal tanpa menimbulkan beban berlebih pada prosesor ESP32-CAM.

Sistem yang dikembangkan memiliki beberapa keunggulan dibandingkan solusi komersial, antara lain biaya implementasi yang rendah, tidak bergantung pada layanan cloud berbayar, serta memanfaatkan aplikasi Telegram yang sudah familiar digunakan masyarakat. Dengan demikian, sistem ini dapat menjadi alternatif solusi keamanan rumah yang murah, mandiri, dan mudah diimplementasikan, khususnya bagi masyarakat menengah ke bawah.

Selain meningkatkan rasa aman bagi penghuni rumah, sistem juga memberikan fleksibilitas pemantauan jarak jauh melalui perangkat smartphone. Hal ini memperkuat nilai praktis penelitian dalam konteks kehidupan sehari-hari, sekaligus memberikan

kontribusi akademis berupa literatur teknis mengenai pemanfaatan ESP32-CAM dan Telegram Bot API dalam sistem keamanan berbasis IoT.

## REFERENCES

- [1]. Z. Abidin dan A. Kurniawan, "Implementasi Internet of Things (IoT) pada sistem keamanan rumah," JATISI (Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi), 2022. [Online]. Available: <https://jurnal.mdp.ac.id/index.php/jatisi/article/view/2525/1025>
- [2]. M. Al-Mhiqani dkk., "A Comprehensive Review of IoT Device Security," *Sensors*, vol. 25, no. 6, 1656, 2025. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/25/6/1656>
- [3]. K. Ashton, "That 'Internet of Things' Thing," *RFID Journal*, 2009. [Online]. Available: <https://www.rfidjournal.com/expert-views/that-internet-of-things-thing/73881/>
- [4]. F. D. Ching, *Building Construction Illustrated*, Wiley, 2020.
- [5]. DFRobot, "DFPlayer Mini SKU: DFR0299 User Manual," 2021. [Online]. Available: [https://wiki.dfrobot.com/DFPlayer\\_Mini\\_SKU\\_DFR0299](https://wiki.dfrobot.com/DFPlayer_Mini_SKU_DFR0299)
- [6]. SparkFun Electronics, "SparkFun Documentation," 2024. [Online]. Available: <https://docs.sparkfun.com/>
- [7]. X. Foundation, "Opus Codec Documentation," 2024. [Online]. Available: <https://opuscodec.org/docs/>
- [8]. J. Fraden, *Handbook of Modern Sensors*, Springer, 2010. [Online]. Available: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4419-6466-3>
- [9]. W. Gay, *Custom Raspberry Pi Interfaces*, Springer, 2019. [Online]. Available: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4842-5049-5>
- [10]. ITU, "Recommendation ITU-T Y.2060: Overview of the Internet of Things," 2012. [Online]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I/en>
- [11]. S. Madakam, R. Ramaswamy, dan S. Tripathi, "Internet of Things (IoT): A Literature Review," *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2017. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2017/9324035>
- [12]. J. Norman, "Kevin Ashton Coins the Term 'Internet of Things'," *History of Information*, 2022. [Online]. Available: <https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=3411>
- [13]. S. A. Nugroho, "Pengembangan media pembelajaran berbasis IoT di sekolah dasar," *Jurnal Penelitian PGSD*, 2023. [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jurnal-penelitian-pgsd/article/view/45761/38732>
- [14]. C. Platt, *Make: Electronics 2nd Edition*, Maker Media, 2015.
- [15]. I. Purnama, "Tinjauan teknologi Internet of Things dalam kehidupan sehari-hari," *Jurnal Komunikasi Data dan Informasi (KDI)*, 2023. [Online]. Available: <https://jurnal.kdi.or.id/index.php/bt/article/view/932>
- [16]. A. Purwanto, "Arsitektur dan Standarisasi Internet of Things (IoT)," 2023. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/370605476\\_ARSITEKTUR\\_DAN\\_STANDARISASI\\_INTERNET\\_OF\\_THINGS\\_IOT](https://www.researchgate.net/publication/370605476_ARSITEKTUR_DAN_STANDARISASI_INTERNET_OF_THINGS_IOT)
- [17]. P. Raj, *Internet of Things: Hands-On*, CRC Press, 2017.
- [18]. M. Sari dan T. Hidayat, "Implementasi Modul DFPlayer Mini Sebagai Output Suara pada Sistem Keamanan Rumah Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal Teknologi Terapan*, 2023.
- [19]. S. M. Sathyamoorthy dkk., "IoT-Based Smart Doorbell: A Review on Technological Developments," *ResearchGate Publication*, 2022. [Online]. Available:

- 
- [https://www.researchgate.net/publication/363883930\\_IoT-Based\\_Smart\\_Doorbell\\_A\\_Review\\_on\\_Technological\\_Developments](https://www.researchgate.net/publication/363883930_IoT-Based_Smart_Doorbell_A_Review_on_Technological_Developments)
- [20]. Espressif Systems, "ESP32 for audio doorbells," 2018. [Online]. Available: <https://esp32.com/viewtopic.php?t=6426>
- [21]. Espressif Systems, "ESP32-CAM Technical Reference Manual," 2021.
- [22]. R. Sari dan A. Saputra, "Smart Doorbell berbasis IoT dengan integrasi Telegram," *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, vol. 8, no. 3, 421–428, 2021.
- [23]. A. Kurniawan dan H. Ardianto, "ESP32-CAM Implementation for IoT-Based Smart Doorbell," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 10, no. 3, 2022.
- [24]. I. Purnama, "Performance of LoRaWAN in Multi-Node IoT Systems," *Jurnal RESTI*, 2023.
- [25]. A. Purwanto, "ESP32-CAM Based Multimedia IoT System for Home Security," *Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 4, no. 1, 2023.
- [26]. Telegram Messenger Inc., "Telegram Bot API Documentation," 2023. [Online]. Available: <https://core.telegram.org/bots/api>