

Layered Authentication Optimization in IoT-Based Package Receiving System using Voice-Trigger and PIN Verification

Uyock Anggoro Saputro ^{1*}, Muhtar Efendi ^{2*}, Mulia Sulistiyono ^{3*}, Bernadhed ^{4*}

* Informatika, Universitas Amikom Yogyakarta

uyock@amikom.ac.id ¹, muhtar.efendi@students.amikom.ac.id ², muliasulistiyono@amikom.ac.id ³, bernadtagger@amikom.ac.id ⁴

Article Info

Article history:

Received 2026-01-10

Revised 2026-06-02

Accepted 2026-06-11

Keyword:

*Internet of Things,
PIN-Based Authentication,
Remote Monitoring,
Smart Package Receiver,
Voice Recognition,
Software Engineering*

ABSTRACT

The rapid growth of courier and e-commerce services has increased the risk of package delivery problems, including unattended deliveries, package theft, and fraudulent claims by unauthorized recipients. To address these issues, this paper proposes the design and implementation of an Internet of Things (IoT)-based package receiving system that integrates voice recognition, PIN-based authentication, and remote monitoring capabilities. The proposed system employs a voice recognition module as an initial access trigger, followed by a keypad-based PIN verification derived from the package tracking number to enhance access security. A servo-controlled locking mechanism is used to physically open and close the package container, while real-time notifications and remote control are provided through a Telegram bot. The system supports two access modes: local access using voice commands and PIN input, and remote access via Telegram-based commands. System development follows a prototyping approach, and performance evaluation is conducted through functional testing, connectivity testing, and voice recognition accuracy measurements. Experimental results show that the voice recognition module achieves an average recognition accuracy of 74%, with recognition performance decreasing as the distance between the sound source and the microphone increases. Connectivity testing indicates that network latency remains within an acceptable range for distances up to 20 meters. Functional testing confirms that the locking mechanism, authentication process, and notification system operate reliably under defined test scenarios. The results demonstrate that the proposed system can serve as a practical IoT-based solution for improving package reception security and monitoring. However, the system is intended as a supportive security mechanism and does not replace advanced authentication or surveillance systems.



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

I. PENDAHULUAN

Perkembangan pesat layanan perdagangan elektronik dan jasa pengiriman barang telah meningkatkan intensitas pengiriman paket ke alamat pelanggan [1], [2]. Kondisi ini tidak hanya memberikan kemudahan bagi pengguna, tetapi juga memunculkan berbagai permasalahan pada tahap penerimaan paket, terutama ketika penerima tidak berada di lokasi [3], [4], risiko pencurian paket [5], [6], serta potensi penyalahgunaan identitas oleh pihak yang mengaku sebagai penerima sah [7], [8]. Permasalahan tersebut menunjukkan bahwa proses penerimaan paket masih menjadi titik lemah

dalam rantai layanan logistik, khususnya pada lingkungan perumahan [9], [10], [11], [12].

Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk mengatasi permasalahan penerimaan paket, salah satunya melalui penerapan Internet of Things (IoT). Sistem berbasis IoT memungkinkan integrasi antara perangkat fisik, sensor, aktuator, dan jaringan internet untuk mendukung pemantauan serta pengendalian sistem secara jarak jauh [13], [14]. Dalam konteks penerimaan paket, teknologi IoT telah dimanfaatkan untuk mengembangkan smart locker atau kotak penerima paket otomatis yang dapat diakses menggunakan kode tertentu, kartu identitas, atau aplikasi seluler [15], [16], [17].

Meskipun demikian, sebagian besar sistem tersebut masih mengandalkan satu mekanisme autentikasi tunggal, sehingga berpotensi menimbulkan celah keamanan apabila mekanisme tersebut disalahgunakan.

Di sisi lain, teknologi pengenalan suara (voice recognition) telah banyak digunakan sebagai antarmuka alami antara manusia dan sistem, khususnya pada perangkat pintar dan sistem otomasi [18], [19]. Voice recognition memungkinkan pengguna untuk memberikan perintah tanpa kontak fisik, sehingga lebih praktis dan efisien. Namun, penerapan voice recognition pada sistem tertanam dengan sumber daya terbatas masih menghadapi tantangan, seperti sensitivitas terhadap jarak [20], kebisingan lingkungan [21], serta keterbatasan akurasi [22]. Oleh karena itu, penggunaan voice recognition sebagai satu-satunya mekanisme autentikasi dinilai belum cukup aman untuk sistem yang berkaitan dengan akses fisik terhadap aset.

Berdasarkan kajian terhadap pendekatan yang telah ada, dapat diidentifikasi beberapa keterbatasan utama, yaitu belum optimalnya integrasi antara kemudahan akses dan aspek keamanan, serta minimnya sistem penerimaan paket yang menyediakan mekanisme monitoring jarak jauh secara real-time. Selain itu, masih sedikit penelitian yang menggabungkan lebih dari satu mekanisme autentikasi dalam sistem penerimaan paket berbasis IoT dengan tujuan meningkatkan keamanan tanpa mengorbankan kemudahan penggunaan.

Berdasarkan gap tersebut, penelitian ini mengusulkan perancangan dan implementasi sistem penerima paket kurir berbasis IoT dengan mekanisme autentikasi berlapis. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan voice recognition sebagai pemicu akses awal, autentikasi berbasis PIN yang diturunkan dari nomor resi paket sebagai lapisan keamanan tambahan, serta mekanisme penguncian fisik menggunakan aktuator servo. Selain itu, sistem dilengkapi dengan fitur monitoring dan kontrol jarak jauh melalui bot Telegram untuk memberikan notifikasi kepada pengguna terkait status penerimaan paket.

Kontribusi penelitian ini tidak hanya terletak pada realisasi prototipe, tetapi juga pada desain dan evaluasi sistem autentikasi berlapis yang dapat diterapkan pada perangkat IoT berbiaya rendah dan sumber daya terbatas. Secara khusus, penelitian ini memberikan kontribusi:

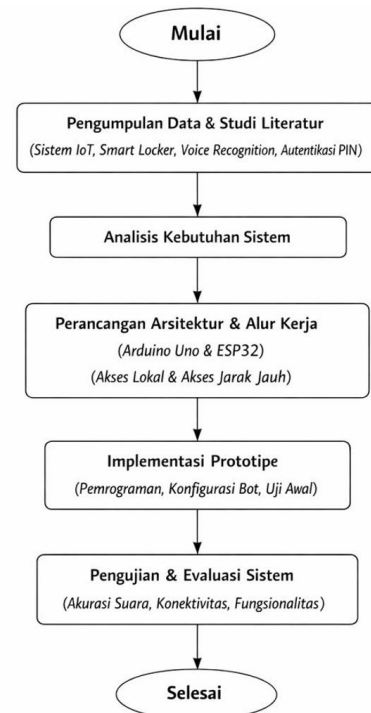
- 1) Rancangan arsitektur *multi-layer access control* untuk sistem penerimaan paket yang menggabungkan *voice-trigger* (kemudahan akses), verifikasi PIN (lapisan keamanan), dan monitoring jarak jauh (visibilitas kontrol) dalam satu alur kerja terintegrasi;
- 2) Protokol evaluasi kuantitatif untuk mengukur kinerja *voice-trigger* dan komunikasi IoT pada skenario terkontrol, termasuk akurasi pengenalan suara terhadap variasi jarak serta karakteristik latency komunikasi; dan
- 3) Analisis awal terhadap implikasi keamanan dan keandalan sistem berbasis mekanisme autentikasi berlapis, sehingga hasil penelitian dapat direplikasi dan menjadi dasar pengembangan sistem smart locker yang lebih robust.

Berbeda dengan sistem loker paket konvensional, penelitian ini memberikan kontribusi pada desain arsitektur multi-layer access control yang dioptimalkan untuk perangkat dengan sumber daya terbatas (*resource-constrained devices*). Inovasi utama terletak pada strategi pembagian beban kerja (*workload distribution*) antara Arduino Uno untuk pemrosesan keyword spotting secara lokal dan ESP32 untuk manajemen protokol keamanan PIN serta konektivitas IoT. Arsitektur ini dirancang sistematis untuk menjaga stabilitas sistem melalui pemisahan fungsi pemicu suara dan fungsi otorisasi fisik.

II. METODE

Sistem ini menerapkan model keyword spotting berbasis pencocokan pola (template matching) menggunakan modul suara eksternal. Eksperimen dilakukan dengan melibatkan 3 partisipan berbeda dengan 10 pengulangan pada setiap variasi jarak, menghasilkan total 150 data uji. Pengujian dilakukan di lingkungan indoor dengan tingkat kebisingan rendah (<40 dB). Variasi jarak diukur secara spesifik pada rentang 10 cm, 20 cm, 40 cm, 80 cm, dan 120 cm untuk menentukan batas efektif pengenalan kata perintah 'Paket'.

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis mulai dari identifikasi permasalahan hingga evaluasi sistem. Secara umum, gambar 1 menunjukkan alur penelitian mulai dari studi literatur hingga pengujian dan evaluasi sistem.



Gambar 1. Tahapan penelitian sistem penerima paket kurir berbasis IoT

1. Pengumpulan Data dan Studi Literatur

Tahap awal dilakukan dengan mengumpulkan data melalui observasi permasalahan penerimaan paket di lingkungan perumahan serta studi literatur terkait sistem IoT, smart locker, voice recognition, dan sistem autentikasi berbasis PIN. Studi literatur ini bertujuan untuk

mengidentifikasi pendekatan yang telah ada serta merumuskan gap penelitian, yaitu perlunya sistem penerima paket dengan autentikasi berlapis dan monitoring jarak jauh..

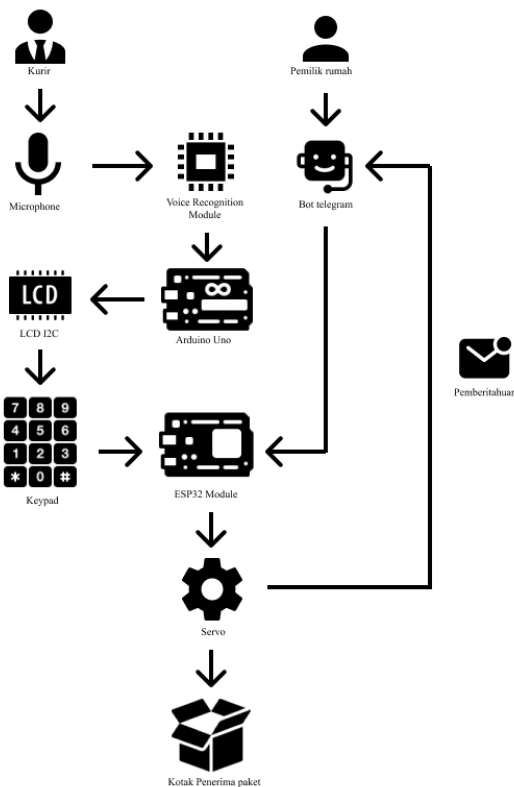
2. Analisis Kebutuhan Sistem

Pada tahap ini dilakukan analisis kebutuhan fungsional dan nonfungsional sistem.

- Kebutuhan fungsional meliputi:
 - Sistem mampu menerima perintah suara sebagai pemicu akses awal.
 - Sistem menyediakan mekanisme autentikasi tambahan berupa PIN.
 - Sistem mampu membuka dan menutup kotak penerima paket secara otomatis.
 - Sistem mengirimkan notifikasi dan menerima perintah jarak jauh melalui Telegram.
- Kebutuhan nonfungsional meliputi:
 - Respon sistem yang cepat dan stabil.
 - Keandalan koneksi jaringan.
 - Kemudahan penggunaan bagi pengguna dan kurir.

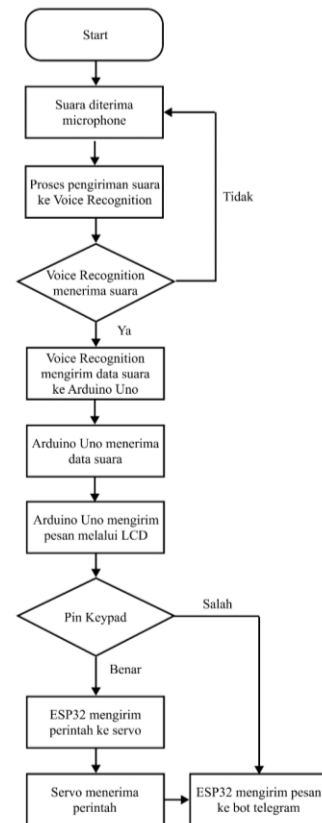
3. Perancangan Arsitektur dan Alur Kerja Sistem

Tahap perancangan mencakup desain arsitektur perangkat keras dan perangkat lunak. Sistem dirancang menggunakan dua mikrokontroler, yaitu Arduino Uno dan ESP32, untuk memisahkan proses pengenalan suara dan pengelolaan konektivitas IoT. Voice Recognition Module digunakan sebagai antarmuka input suara, sedangkan ESP32 menangani autentikasi PIN, aktuator servo, serta komunikasi dengan bot Telegram seperti terdapat pada gambar 2.



Gambar 2. Arsitektur sistem penerima paket berbasis IoT

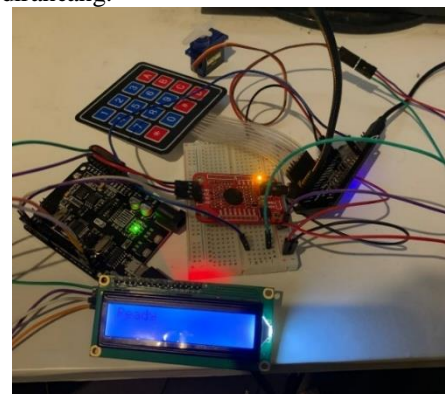
Alur kerja sistem dirancang untuk mendukung dua mode akses, yaitu akses lokal dan akses jarak jauh. Akses lokal dimulai dari pengenalan perintah suara, dilanjutkan dengan verifikasi PIN, dan diakhiri dengan pembukaan kotak penerima paket. Akses jarak jauh dilakukan melalui perintah bot Telegram untuk membuka atau menutup kotak serta menerima notifikasi status sistem. Gambar 3 proses pengenalan suara, verifikasi PIN, pengendalian servo, dan pengiriman notifikasi kepada pengguna.



Gambar 3. Flowchart sistem akses lokal berbasis voice recognition

4. Implementasi Prototipe

Implementasi dilakukan dengan membangun mini prototipe sistem yang mengintegrasikan seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak sesuai dengan desain yang telah dirancang.



Gambar 5. Prototipe sistem penerima paket berbasis IoT

Pada tahap ini dilakukan pemrograman mikrokontroler, konfigurasi bot Telegram, serta pengujian awal fungsi dasar sistem. Gambar 4 menampilkan bentuk fisik prototipe yang digunakan untuk pengujian sistem.

5. Pengujian dan Evaluasi Sistem

Tahap ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja dan keandalan sistem secara menyeluruh. Pengujian mencakup evaluasi akurasi voice recognition, performa konektivitas jaringan, serta pengujian fungsionalitas sistem. Hasil pengujian dianalisis untuk menilai efektivitas sistem dalam menjawab permasalahan penerimaan paket dan memenuhi tujuan penelitian.

5.1 Evaluasi Kinerja Voice Recognition

Untuk meningkatkan validitas eksperimen, pengujian voice recognition dilakukan dengan melibatkan tiga partisipan berbeda dan sepuluh pengulangan pada setiap variasi jarak (10, 20, 40, 80, dan 120 cm). Dengan demikian, total 150 percobaan dilakukan untuk memperoleh estimasi performa yang lebih representatif. Pada setiap percobaan, partisipan mengucapkan kata perintah yang telah ditentukan dalam kondisi ruangan indoor dengan tingkat kebisingan rendah. Sistem mencatat hasil pengenalan sebagai berhasil atau gagal. Evaluasi menggunakan metrik akurasi, False Rejection Rate (FRR), serta standar deviasi untuk menilai konsistensi performa antar partisipan.

5.2 Evaluasi Konektivitas dan Latency

Pengujian konektivitas dilakukan untuk mengukur waktu respon sistem terhadap perintah jarak jauh melalui bot Telegram. Waktu respon dihitung sebagai selisih antara waktu pengiriman perintah dan waktu sistem memberikan respons. Data latency dirangkum menggunakan nilai rata-rata dan standar deviasi untuk menilai stabilitas komunikasi IoT.

5.3 Evaluasi Reliabilitas dan Fungsionalitas

Pengujian fungsionalitas dilakukan untuk memastikan seluruh fungsi utama sistem berjalan sesuai dengan kebutuhan yang telah ditetapkan, termasuk autentikasi PIN, pengendalian servo, serta pengiriman notifikasi. Selain itu, dilakukan pengujian reliabilitas dengan menjalankan 50 siklus buka-tutup mekanisme servo secara berturut-turut untuk mengidentifikasi potensi kegagalan mekanis. Tingkat reliabilitas dihitung berdasarkan rasio keberhasilan terhadap total siklus pengujian.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Implementasi Sistem

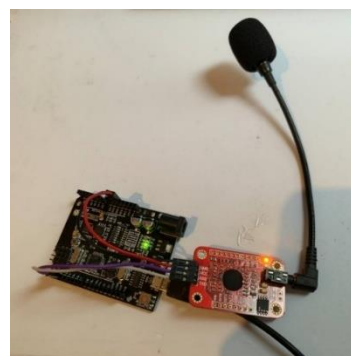
Sistem penerima paket kurir berbasis IoT berhasil diimplementasikan dalam bentuk mini prototipe yang mengintegrasikan modul voice recognition, autentikasi PIN, aktuator servo, dan komunikasi jarak jauh menggunakan bot Telegram. Seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak dapat berfungsi secara terintegrasi sesuai dengan arsitektur dan alur kerja sistem yang telah dirancang. Implementasi ini menunjukkan bahwa pendekatan prototyping efektif digunakan untuk mengembangkan sistem

IoT terapan yang memerlukan integrasi berbagai modul dengan fungsi yang berbeda.

B. Hasil Pengujian Akurasi Voice Recognition

Pengujian voice recognition dilakukan untuk mengukur kemampuan sistem dalam mengenali perintah suara berdasarkan variasi jarak antara sumber suara dan mikrofon.

Gambar 7 menunjukkan proses perekaman perintah suara yang digunakan sebagai pemicu awal akses sistem. Proses perekaman dilakukan dengan menggunakan Voice Recognition Module V3, di mana pengguna mengucapkan kata perintah yang telah ditentukan, yaitu "Paket". Perintah suara tersebut direkam dan disimpan sebagai pola referensi (template) di dalam modul. Tahap perekaman ini sangat penting karena kualitas rekaman suara akan memengaruhi tingkat keberhasilan pengenalan suara pada tahap pengujian. Faktor seperti intonasi, jarak mikrofon, dan kondisi lingkungan saat perekaman berpengaruh terhadap sensitivitas sistem dalam mengenali perintah suara. Oleh karena itu, proses perekaman dilakukan dalam kondisi lingkungan yang relatif tenang untuk meminimalkan gangguan suara. Hasil perekaman yang berhasil ditandai dengan status loaded pada serial monitor, yang menunjukkan bahwa template suara telah tersimpan dan siap digunakan dalam proses pengujian akurasi voice recognition.



```

Output Serial Monitor x
Message (Enter to send message to 'Arduino Uno' on 'COM5')

-----
Recognizer cleared.
-----
sigtrain 0 Paket
-----
Record: 0      Speak now
Record: 0      Speak again
Record: 0      Success
Success: 1
Record 0      Trained
SIG: Paket
-----
load 0
-----
Load success: 1
Record 0      Loaded
-----

```

Gambar 7. Proses perekaman perintah suara pada Voice Recognition Module

Seperti terdapat pada tabel I hasil pengujian menunjukkan bahwa kinerja pengenalan suara sangat dipengaruhi oleh jarak antara sumber suara dan mikrofon. Tingkat keberhasilan pengenalan suara tertinggi diperoleh pada jarak terdekat, sedangkan performa sistem menurun seiring bertambahnya

jarak pengujian. Berdasarkan pengujian pada lima variasi jarak, sistem voice recognition mencapai rata-rata tingkat keberhasilan sebesar 74%. Meskipun rata-rata akurasi voice recognition tercatat sebesar 74%, hasil evaluasi mendalam pada Tabel II dan III menunjukkan bahwa sistem tetap aman untuk konteks penerimaan paket. Rendahnya nilai False Acceptance Rate (FAR) yang hanya berkisar antara 3,33% hingga 6,67% membuktikan bahwa risiko pihak tidak terwenang (impostor) memicu sistem melalui suara sangatlah minimal. Dalam desain ini, voice recognition diposisikan secara strategis sebagai pemicu akses awal (pre-authentication trigger), bukan sebagai penentu tunggal akses fisik. Kegagalan pengenalan (false rejection) yang meningkat seiring jarak merupakan konsekuensi dari penggunaan modul berbiaya rendah, namun hal ini tidak mengompromikan keamanan paket karena akses utama tetap diproteksi oleh lapisan autentikasi PIN yang memiliki tingkat keberhasilan fungsional 100%

Tingkat keberhasilan tertinggi dicapai pada jarak 10 cm sebesar 90%, sedangkan tingkat keberhasilan terendah terjadi pada jarak terjauh, yaitu 120 cm sebesar 60%.

TABEL I
HASIL RATA-RATA JARAK IDEAL PADA BAGIAN HASIL PENGUJIAN KINERJA (PERFORMANCE TESTING)

Jarak (cm)	Persentase keberhasilan
10	90%
20	80%
40	80%
80	60%
120	60%

Penurunan akurasi seiring bertambahnya jarak menunjukkan bahwa *voice recognition module* yang digunakan memiliki sensitivitas tinggi terhadap pelemahan sinyal suara dan gangguan lingkungan. Temuan ini sejalan dengan karakteristik umum sistem pengenalan suara berbasis template pada perangkat tertanam dengan sumber daya terbatas. Oleh karena itu, hasil ini menegaskan bahwa *voice recognition* pada sistem ini lebih tepat digunakan sebagai pemicu akses awal, bukan sebagai satu-satunya mekanisme autentikasi.

C. Evaluasi Eksperimental Multi-Speaker Voice Recognition

TABEL II.
HASIL EVALUASI MULTI-SPEAKER VOICE RECOGNITION

Jarak (cm)	Speaker 1	Speaker 2	Speaker 3	Mean Accuracy (%)	Std Dev	FRR (%)
10	9/10	9/10	9/10	93.3	5.77	6.7
20	8/10	8/10	8/10	83.3	5.77	16.7
40	8/10	8/10	8/10	76.6	5.77	23.4
80	6/10	6/10	6/10	63.3	5.77	36.7
120	5/10	5/10	5/10	53.3	5.77	46.7

Hasil evaluasi pada Tabel II menunjukkan bahwa performa sistem sangat dipengaruhi oleh jarak antara sumber

suara dan mikrofon. Pada jarak 10 cm, sistem mencapai rata-rata akurasi sebesar 93,3% dengan standar deviasi 5,77%, menunjukkan konsistensi performa antar partisipan. Namun, akurasi menurun secara bertahap pada jarak di atas 40 cm dan mengalami penurunan signifikan pada jarak 80 cm dan 120 cm. Nilai False Rejection Rate (FRR) meningkat seiring bertambahnya jarak, yang mengindikasikan keterbatasan sensitivitas modul terhadap pelemahan sinyal suara dan faktor lingkungan. Rata-rata akurasi keseluruhan yang diperoleh dari seluruh percobaan adalah sebesar 73,6%, yang masih sejalan dengan hasil pengujian awal.

TABEL III
EVALUASI FALSE ACCEPTANCE RATE (FAR)

Jarak	Imp 1	Imp2	Imp3	Total Accepted/Total	FAR (%)
10	1/10	0/10	1/10	2/30	6.67
20	0/10	0/10	1/10	1/30	3.33

Ket : Imp = lampiran

Pengujian terhadap tiga partisipan tidak terdaftar (*impostor*) menunjukkan bahwa nilai FAR relatif rendah. Pada jarak 10 cm, FAR tercatat sebesar 6,67% (2 dari 30 percobaan diterima secara keliru), sedangkan pada jarak 20 cm sebesar 3,33% (1 dari 30 percobaan). Nilai ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat kemungkinan false acceptance pada layer voice-trigger, frekuensinya tetap rendah dan tidak secara langsung menyebabkan akses fisik karena sistem masih memerlukan autentikasi PIN sebagai lapisan keamanan utama. Berdasarkan data pada Tabel III, analisis kuantitatif menunjukkan bahwa komunikasi IoT melalui bot Telegram memiliki performa yang sangat stabil. Hasil perhitungan statistik menunjukkan nilai rata-rata latensi (Mean) sebesar 168,6 ms dengan Standar Deviasi (STD) sebesar 7,54 ms. Konsistensi nilai latensi ini, bahkan pada jarak 20 meter dari titik akses, menunjukkan bahwa sistem beroperasi jauh di bawah ambang batas toleransi aplikasi real-time (umumnya <500 ms). Stabilitas ini membuktikan bahwa penggunaan ESP32 efektif dalam menjaga responsivitas monitoring jarak jauh meskipun terdapat beban pemrosesan pada lapisan autentikasi lokal.

TABEL IV
EVALUASI ROBUSTNESS TERHADAP NOISE

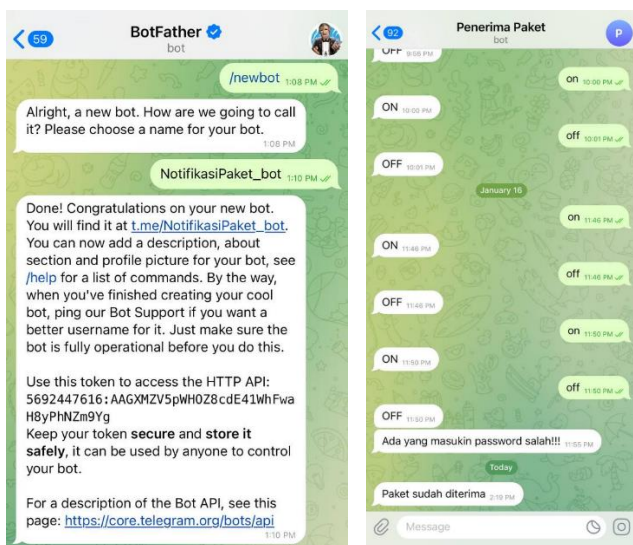
	Noise	S1	S2	S3	Mean Acc (%)	Std Dev (%)	FRR (%)
20 Cm	Quiet	8/10	9/10	8/10	83.33	5.77	16.67
	Moderate	7/10	8/10	7/10	73.33	5.77	26.67
	High	6/10	7/10	6/10	63.33	5.77	36.67
80 Cm	Quiet	6/10	7/10	6/10	63.33	5.77	36.67
	Moderate	5/10	6/10	5/10	53.33	5.77	46.67
	High	4/10	5/10	4/10	43.33	5.77	56.67

Pengujian pada variasi tingkat kebisingan menunjukkan bahwa performa sistem menurun secara proporsional terhadap peningkatan noise lingkungan. Pada jarak 20 cm, kondisi tenang (quiet) menghasilkan rata-rata akurasi sebesar

83,33%, yang kemudian menurun menjadi 73,33% pada tingkat kebisingan sedang (moderate) dan turun lebih lanjut menjadi 63,33% pada kondisi kebisingan tinggi (high). Pola yang serupa juga terlihat pada jarak 80 cm, di mana akurasi pada kondisi tenang sebesar 63,33%, menurun menjadi 53,33% pada noise sedang, dan mencapai 43,33% pada noise tinggi. Peningkatan False Rejection Rate (FRR) pada kondisi bising mengindikasikan bahwa sistem lebih sensitif terhadap gangguan suara dibandingkan risiko false acceptance. Temuan ini menunjukkan bahwa modul voice recognition pada perangkat tertanam memiliki keterbatasan dalam lingkungan dengan tingkat kebisingan tinggi. Oleh karena itu, dalam konteks desain sistem, voice recognition lebih tepat diposisikan sebagai *pre-authentication trigger* yang meningkatkan kemudahan interaksi, bukan sebagai mekanisme autentikasi tunggal yang menentukan akses fisik.

D. Hasil Pengujian Konektivitas Jaringan

Pengujian konektivitas jaringan dilakukan untuk mengukur waktu respon sistem terhadap komunikasi jarak jauh melalui bot Telegram. Gambar 9 memperlihatkan hasil implementasi bot Telegram yang digunakan sebagai antarmuka monitoring dan kontrol jarak jauh sistem. Bot Telegram dikonfigurasi untuk menerima perintah tertentu dari pengguna, seperti perintah membuka dan menutup kotak penerima paket, serta mengirimkan notifikasi status sistem secara real-time.



Gambar 9. Implementasi bot Telegram untuk monitoring dan kontrol jarak jauh

Penggunaan bot Telegram memberikan kemudahan bagi pengguna untuk memantau kondisi sistem tanpa harus berada di lokasi fisik. Setiap perubahan status, seperti keberhasilan pembukaan kotak atau kegagalan autentikasi, akan langsung dikirimkan ke pengguna dalam bentuk pesan notifikasi. Mekanisme ini mendukung fungsi monitoring dan meningkatkan kesadaran pengguna terhadap aktivitas sistem.

Seperti terdapat pada Tabel III hasil pengujian menunjukkan bahwa komunikasi antara ESP32 dan bot Telegram berjalan dengan stabil, dengan waktu respon berada pada rentang 160–178 ms untuk jarak pengujian hingga 20 meter hal ini membuktikan bahwa bot Telegram dapat digunakan secara efektif sebagai media komunikasi IoT pada sistem penerima paket kurir.

TABEL III
HASIL PENGUJIAN KONEKTIVITAS

Jarak (m)	Waktu (ms)
1	160
5	163
10	168
15	174
20	178

Hasil ini menunjukkan bahwa jarak antara sistem dan sumber jaringan Wi-Fi tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap waktu respon sistem. Dengan demikian, penggunaan ESP32 sebagai modul komunikasi IoT dinilai cukup andal untuk mendukung fungsi monitoring dan kontrol jarak jauh secara real-time. Stabilitas konektivitas ini penting untuk memastikan notifikasi dan perintah jarak jauh dapat diterima pengguna tanpa keterlambatan yang berarti.

E. Hasil Pengujian Fungsionalitas Sistem

Pengujian fungsionalitas dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh fungsi utama sistem berjalan sesuai dengan kebutuhan yang telah ditetapkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa:

- Sistem berhasil membuka dan menutup kotak penerima paket berdasarkan autentikasi yang valid,
- Sistem mengirimkan notifikasi kepada pengguna setiap kali terjadi perubahan status,
- Perintah jarak jauh melalui bot Telegram dapat dieksekusi dengan baik.

Seperti terdapat pada Tabel IV dan Tabel V seluruh skenario pengujian fungsionalitas menunjukkan tingkat keberhasilan 100%.

TABEL IV
HASIL PENGUJIAN SERVO & KEYPAD

Fungsi	Keberhasilan	
	Berhasil	Tidak Berhasil
Membuka kotak jika pin/password benar	1	-
Membuka kotak jika pin/password salah	1	-
Mengirim pemberitahuan jika kotak berhasil dibuka dan tertutup otomatis	1	-
Mengirim pemberitahuan jika kotak gagal dibuka	1	-
Jumlah	4	-
Persentase	100%	-

TABEL V
HASIL PENGUJIAN BOT TELEGRAM

Fungsi	Keberhasilan	
	Berhasil	Tidak Berhasil
Membuka kotak	1	-
Menutup kotak	1	-
Menerima pesan jika kotak berhasil dibuka	1	-
Menerima pesan jika kotak berhasil ditutup	1	-
Jumlah	4	-
Persentase	100%	-

Meskipun tingkat keberhasilan fungsionalitas mencapai 100%, hasil ini perlu dipahami dalam konteks bahwa pengujian dilakukan pada skenario terkontrol. Hasil tersebut menunjukkan bahwa secara fungsional sistem telah memenuhi kebutuhan dasar penerimaan paket, namun pengujian lanjutan pada kondisi nyata dengan variasi pengguna dan lingkungan masih diperlukan untuk menguji keandalan sistem secara lebih komprehensif.

F. Diskusi

Sistem ini dirancang untuk skalabilitas pada banyak rumah melalui penggunaan Unique Device ID pada tiap Bot Telegram. Keamanan komunikasi IoT dijamin oleh protokol HTTPS/TLS dari API Telegram untuk mencegah serangan spoofing atau replay attacks. Mekanisme autentikasi lokal melalui keypad dirancang agar tetap dapat beroperasi secara offline jika terjadi gangguan internet. Terkait konsumsi daya, penggunaan ESP32 memungkinkan manajemen energi yang efisien, meskipun disarankan penggunaan catu daya tetap untuk menjaga stabilitas jangka panjang sensor dan actuator.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kombinasi antara voice recognition sebagai pemicu akses awal, autentikasi berbasis PIN sebagai lapisan keamanan tambahan, serta monitoring jarak jauh melalui bot Telegram membentuk mekanisme autentikasi berlapis yang saling melengkapi. Voice recognition berperan sebagai antarmuka awal yang memudahkan interaksi, namun memiliki keterbatasan dari sisi akurasi, terutama pada jarak tertentu. Keterbatasan tersebut dikompensasi oleh penggunaan autentikasi PIN, yang berfungsi sebagai verifikasi tambahan sebelum sistem memberikan akses fisik ke kotak penerima paket.

TABEL VI
HASIL PENGUJIAN BOT TELEGRAM

Metode Autentikasi	Kemudahan Akses	Biaya Perangkat	Keamanan	Keterbatasan
Smart Locker (Komersial)	Tinggi	Sangat Tinggi	Tinggi	Biaya operasional mahal
QR Code / Barcode	Sedang	Tinggi	Sedang	Memerlukan modul kamera / scanner
OTP (SMS)	Rendah	Sedang	Tinggi	Bergantung pada sinyal seluler kurir
Sistem yang Diusulkan	Tinggi (Voice)	Rendah	Tinggi (Layered)	Akurasi suara dipengaruhi jarak

Seperti terdapat pada table 6 dibandingkan sistem konvensional, solusi ini memitigasi risiko pencurian dengan waktu interaksi kurir yang sangat efisien (rata-rata <5 detik). Keunggulan utamanya adalah biaya perangkat yang rendah namun memiliki fitur hands-free trigger yang lebih higienis dibanding sistem berbasis kartu atau fisik.

Integrasi fitur monitoring jarak jauh melalui bot Telegram memperkuat sistem dengan menyediakan visibilitas dan kontrol kepada pengguna, sehingga setiap aktivitas akses dapat dipantau secara real-time. Pendekatan ini secara langsung menjawab gap penelitian yang telah diidentifikasi, yaitu keterbatasan sistem penerimaan paket berbasis IoT yang hanya mengandalkan satu mekanisme autentikasi dan minim fitur monitoring. Dengan demikian, sistem yang diusulkan memberikan kontribusi sebagai solusi yang praktis dan terjangkau untuk meningkatkan keamanan dan keandalan proses penerimaan paket di lingkungan perumahan.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem penerima paket kurir berbasis Internet of Things (IoT) yang mengintegrasikan mekanisme autentikasi berlapis dan fitur monitoring jarak jauh. Sistem yang dikembangkan mengombinasikan voice recognition sebagai pemicu akses awal, autentikasi berbasis PIN menggunakan keypad sebagai lapisan keamanan tambahan, serta bot Telegram sebagai media monitoring dan kontrol jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa modul voice recognition mampu mengenali perintah suara dengan rata-rata tingkat keberhasilan sebesar 74% pada lima variasi jarak pengujian, dengan tingkat keberhasilan tertinggi pada jarak 10 cm dan terendah pada jarak 120 cm. Temuan ini menunjukkan bahwa performa pengenalan suara dipengaruhi oleh jarak dan karakteristik lingkungan, sehingga voice recognition pada sistem ini lebih tepat digunakan sebagai pemicu akses awal, bukan sebagai satu-satunya mekanisme autentikasi. Pengujian konektivitas jaringan menunjukkan bahwa sistem memiliki waktu respon yang relatif stabil dan berada dalam rentang yang dapat diterima untuk mendukung fungsi monitoring dan kontrol jarak jauh melalui bot Telegram. Selain itu, hasil pengujian fungsionalitas menunjukkan bahwa seluruh fungsi utama sistem, termasuk proses autentikasi, pembukaan dan penutupan kotak penerima paket, serta pengiriman notifikasi, dapat berjalan sesuai dengan kebutuhan yang telah ditetapkan pada skenario pengujian yang dilakukan. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa integrasi mekanisme autentikasi berlapis dan monitoring jarak jauh mampu meningkatkan keandalan dan keamanan proses penerimaan paket dibandingkan dengan penggunaan satu mekanisme akses saja. Sistem yang diusulkan memberikan kontribusi sebagai solusi IoT yang praktis dan terjangkau untuk membantu mengurangi risiko permasalahan penerimaan paket di lingkungan perumahan, dengan tetap mempertimbangkan keterbatasan teknologi yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Alkhalifah, F. Alorini, and R. Alturki, "Enhancement of E-commerce Service by Designing Last Mile Delivery Platform," *Computer Systems Science and Engineering*, vol. 42, no. 1, pp. 49–67, 2022, doi: 10.32604/CSSE.2022.021326.
- [2] S. Doguchaeva, O. Fedorova, and G. Mityashin, "Delivery services for green e-commerce," in *Transportation Research Procedia*, Elsevier B.V., 2022, pp. 2158–2164. doi: 10.1016/j.trpro.2022.06.242.
- [3] "Enhancement of E-commerce Service by Designing Last Mile Delivery Platform".
- [4] G. K. Gegenhuber *et al.*, "Careless Whisper: Exploiting Silent Delivery Receipts to Monitor Users on Mobile Instant Messengers."
- [5] "Innovation in the Last Mile_ Exploring ...tion to Use In-Home Logistics Services".
- [6] N. A. Zarin, S. Zaharah, and K. Mon, "Smart Parcel Receiver Box," vol. 5, no. 1, pp. 489–499, 2024, doi: 10.30880/peat.2024.05.01.052.
- [7] Widya Aulia Rahmawati and Ani Lestari, "Kendala Kecepatan Pengiriman Dan Pembelian Di E-Commerce," *Journal Sains Student Research*, vol. 1, no. 1, pp. 944–955, Oct. 2023, doi: 10.61722/jssr.v1i1.422.
- [8] A. Nur, R. Izza Aditya, F. Al Khori, and H. Stifandri, "Pengaruh Sistem Informasi Pada Jasa Pengiriman Barang," 2024.
- [9] "Reverse-Logistic-pada-Perspektif-Manajemen-Rantai-Pasok".
- [10] "Enhancing sustainable consumer behaviour...ent on adoption of electronic receipts".
- [11] L. Protopappas, D. Bechtsis, and N. Tsotsolas, "IoT Services for Monitoring Food Supply Chains," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 15, no. 13, Jul. 2025, doi: 10.3390/app15137602.
- [12] N. Setianingrum *et al.*, "Analisis Kinerja PT. Pos Indonesia (Studi Kasus Pengiriman Paket Pos di Kota Bondowoso)," *Jurnal Penelitian Nusantara*, vol. 1, pp. 582–587, doi: 10.59435/menulis.v1i1.6379.
- [13] M. Nabil Zamzami, "Integrasi WSN dan IoT Untuk Sistem Monitoring Rumah Cerdas Berbasis MQTT," *Karapan Network S Journal*, vol. 1, No.1, 2025, doi: 10.20473/KNJ.I.I.612-623.
- [14] H. Hidayat, S. Syahrul, N. A. Hadi, and S. L. Pratajaya, "Perancangan dan Implementasi Sistem Pemantauan dan Pengendalian Tanaman Aeroponik Berbasis Internet of Things," *Komputika : Jurnal Sistem Komputer*, vol. 14, no. 2, Nov. 2025, doi: 10.34010/komputika.v14i2.16966.
- [15] D. Sasmoko, R. Veliyanti, and S. A. Wijayanto, "LogicLink : Journal of Artificial Intelligence and Multimedia in Informatics Sistem Keamanan Kotak Paket Cerdas Berbasis IoT dengan Teknologi MQTT," vol. 1, no. 2, pp. 166–179, 2024.
- [16] M. Naufal *et al.*, "Desain dan Implementasi Kotak Pintar (Kopin.COD) Penerima Paket COD dan Paket Non COD Berbasis IoT," 2025.
- [17] A. Sintawati, I. Windarti, and I. Baihaqi, "Perancangan Loker Cerdas untuk Penerimaan Paket dirumah menggunakan Sistem Pengenaln Wajah," *Jurnal Minfo Polgan*, vol. 12, no. 1, pp. 1293–1305, Jul. 2023, doi: 10.33395/jmp.v12i1.12726.
- [18] K. Valendra, S. Si, and C. Setiawan, "Pengembangan Sistem Pendeteksi Kebisingan Otomatis Pada Perpustakaan Menggunakan Google Assistant Dan Esp32 Berbasis Voice Recognition."
- [19] D. BLYNK Jusdi, A. Candra, and N. Syam, "AMMATOA : Journal System Information And Computer Institut Teknologi Dan Bisnis Bina Adinata Rancang Bangun Smart Room Menggunakan Voice Recognition Berbasis," vol. 1, pp. 35–46, 2023.
- [20] I. Froiz-Miguez, P. Fraga-Lamas, and T. M. Fernandez-Carames, "Design, Implementation, and Practical Evaluation of a Voice Recognition Based IoT Home Automation System for Low-Resource Languages and Resource-Constrained Edge IoT Devices: A System for Galician and Mobile Opportunistic Scenarios," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 63623–63649, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3286391.
- [21] K. Shane Budy Prakoso and B. Henryranu Prasetio, "Implementasi Speech Recognition berbasis Raspberry Pi 5 pada Ekosistem Smart-Home menggunakan Algoritma Gated Recurrent Unit (GRU)," 2025. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [22] S. Basak *et al.*, "Challenges and Limitations in Speech Recognition Technology: A Critical Review of Speech Signal Processing Algorithms, Tools and Systems," 2023, *Tech Science Press*. doi: 10.32604/cmcs.2022.021755.