

Perancangan Sistem Penguncian Otomatis Berbasis PIR (Passive Infrared Receiver) untuk Keamanan Ruang Penyimpanan Perkakas

¹ Muhammad Ano Bairuki, ² Ghulam Asrofi Buntoro, ³ Mohammad Mohsin

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah, Ponorogo

Jl. Budi Utomo No 10, Ponorogo 63471, Jawa Timur, Indonesia

¹muhammadruki7@gmail.com, ²ghulam@umpo.ac.id, ³muh_muhsin@umpo.ac.id

Abstract — Tool storage rooms are highly vulnerable to theft outside of working hours due to minimal supervision and reliance on manual locking systems. This research aims to design and develop an active security system based on the Internet of Things (IoT) to detect suspicious activities, automatically lock the door, and provide warnings through a dual alarm system and Telegram application notifications. The system utilizes an ESP32 microcontroller, connected via the ESP-NOW wireless communication protocol, linking the unit in the storage room with the security guard post. The primary hardware components include an HC-SR501 PIR sensor for motion detection, a 12V solenoid door lock for automatic locking, an MC-38 magnetic door switch to monitor the door's status, and a DS3231 RTC module to automatically activate the system outside working hours (17:00–06:00). Based on the integrated testing results, all components functioned properly and seamlessly according to the design. When the PIR sensor detected movement, the system successfully triggered the relay to lock the door and sound the alarm in the storage room with a response time ranging from 3.0 to 3.8 seconds. Furthermore, the warning notification messages were successfully delivered to Telegram within 4.0 to 4.7 seconds. The ESP-NOW communication testing revealed that data transmission was highly optimal at a distance of 10 to 50 meters; however, signal transmission to the security post experienced failure at a distance of 60 meters. Overall, the designed security system proved to be responsive, active, and effective as a preventive security solution for tool storage rooms.

Keywords — ESP32; PIR Sensor; Real Time Clock DS3231; Security System; Solenoid Door Lock

Abstrak — Ruang penyimpanan perkakas sangat rentan terhadap pencurian di luar jam kerja akibat pengawasan yang minim dan penggunaan sistem penguncian manual. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem keamanan aktif berbasis Internet of Things (IoT) untuk mendeteksi aktivitas mencurigakan, mengunci pintu secara otomatis, serta memberikan peringatan melalui alarm ganda dan notifikasi aplikasi Telegram. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung melalui protokol komunikasi nirkabel ESP-NOW antara unit di ruang penyimpanan dan pos satpam. Perangkat keras utama yang digunakan mencakup sensor PIR HC-SR501 untuk mendeteksi gerakan, solenoid door lock 12V sebagai pengunci pintu otomatis, magnetic door switch MC-38 untuk memantau status pintu, dan RTC DS3231 untuk mengaktifkan sistem secara otomatis di luar jam kerja (17.00–06.00). Berdasarkan hasil pengujian secara terintegrasi, seluruh komponen berfungsi dengan baik dan terpadu sesuai rancangan. Ketika sensor PIR mendeteksi pergerakan, sistem berhasil memicu relay untuk mengunci pintu dan membunyikan alarm di ruang penyimpanan dengan waktu respons 3,0 hingga 3,8 detik. Selain itu, pesan notifikasi peringatan ke Telegram berhasil dikirimkan dalam rentang waktu 4,0 hingga 4,7 detik. Pengujian komunikasi ESP-NOW menunjukkan transmisi data berjalan sangat optimal pada jarak 10 hingga 50 meter, namun pengiriman sinyal ke pos satpam mengalami kegagalan pada jarak 60 meter. Secara keseluruhan, rancang bangun sistem keamanan ini terbukti responsif, aktif, dan efektif sebagai solusi pengamanan preventif ruang penyimpanan perkakas.

Kata Kunci — ESP32; Keamanan Ruang Penyimpanan; Real Time Clock DS3231; Sensor PIR; Solenoid Door Lock

I. PENDAHULUAN

Ruang untuk menyimpan perkakas, baik di pendidikan, industri, maupun sektor komersial, merupakan fasilitas penting yang mendukung berbagai kegiatan operasional. Di dalamnya terdapat aset-aset penting seperti alat tangan, alat listrik, alat ukur presisi, dan bagian mesin yang sering kali bernilai ekonomis tinggi. Dengan mempertimbangkan signifikansi fungsi dan nilai aset tersebut, keamanan ruang penyimpanan perkakas menjadi hal yang paling utama [1].

Masalah utama yang sering dijumpai adalah tingginya tingkat risiko keamanan, khususnya ancaman pencurian. Risiko ini meningkat signifikan di luar waktu kerja ketika pengawasan sangat minim. Sistem keamanan tradisional seperti kunci gembok manual memiliki banyak kelemahan karena mudah dibobol dan bergantung pada kewaspadaan individu. Pengawasan oleh petugas keamanan juga memiliki batasan karena tidak bisa memantau seluruh area selama 24 jam penuh [2][3].

Kelemahan sistem tradisional tersebut telah memicu berbagai penelitian untuk memanfaatkan Internet of Things (IoT) [4]. Paradigma pertama berfokus pada kontrol akses berbasis otentikasi seperti sidik jari dan keypad [4], serta Radio Frequency Identification (RFID) [5]. Paradigma kedua adalah pengawasan pasif menggunakan sensor PIR dengan respons terbatas pada pengiriman notifikasi atau pengumpulan bukti visual [6][7].

Internet of Things (IoT) merupakan konsep teknologi yang menyatukan benda-benda fisik dengan jaringan internet menggunakan sensor untuk mendorong kolaborasi antarperangkat [8]. Sensor PIR (Passive Infrared Receiver) sangat efektif dalam mendeteksi aktivitas mencurigakan karena dapat mengidentifikasi pergerakan berdasarkan radiasi panas tubuh manusia. Solenoid door lock berfungsi sebagai kunci pintu elektronik yang dapat dioperasikan secara otomatis melalui sistem [9].

Kebaruan penelitian ini adalah menciptakan sistem yang tidak hanya mendeteksi dan melaporkan, namun juga beraksi secara proaktif. Berbeda dengan penelitian [7] yang hanya mengirimkan notifikasi visual melalui kamera dengan waktu pengimprimian notifikasi 12,6 detik dan penelitian [8] yang sebatas membunyikan alarm lokal, sistem ini mengintegrasikan tiga respons secara bersamaan: mengunci solenoid secara otomatis dengan rata-rata waktu 3,4 detik, membunyikan alarm ganda di ruang penyimpanan dan pos satpam, serta mengirimkan notifikasi Telegram secara real-time pada rata-rata waktu 4,3 detik [10]. Pendekatan terintegrasi ini menjadikan sistem lebih responsif dan preventif dibandingkan solusi yang hanya mengandalkan satu mekanisme respons. Penelitian ini mengambil judul "Perancangan Sistem Penguncian Otomatis Berbasis PIR (Passive Infrared Receiver) Untuk Keamanan Ruang Penyimpanan Perkakas

II. METODE PENELITIAN

A. Studi Lapangan

Tahap awal penelitian dilakukan dengan mengamati secara langsung lokasi penelitian, yaitu tempat penyimpanan perkakas di SMKN 1 Jenangan. Tujuan utama fase ini adalah mengidentifikasi masalah keamanan yang berkaitan dengan risiko pencurian di luar waktu operasional. Informasi yang diperoleh digunakan untuk menentukan kebutuhan fungsional sistem, seperti pentingnya deteksi gerakan otomatis dan sistem peringatan ganda.

B. Studi Literatur

Bersamaan dengan penelitian lapangan, dilakukan kajian pustaka untuk menciptakan basis teoritis yang solid. Peneliti mengumpulkan data dari berbagai sumber ilmiah serta informasi teknis mengenai komponen. Tujuan fase ini adalah memahami sifat teknis komponen utama seperti sensor PIR, solenoid door lock, dan mikrokontroler ESP32, serta mengeksplorasi penelitian sebelumnya sebagai referensi pengembangan.

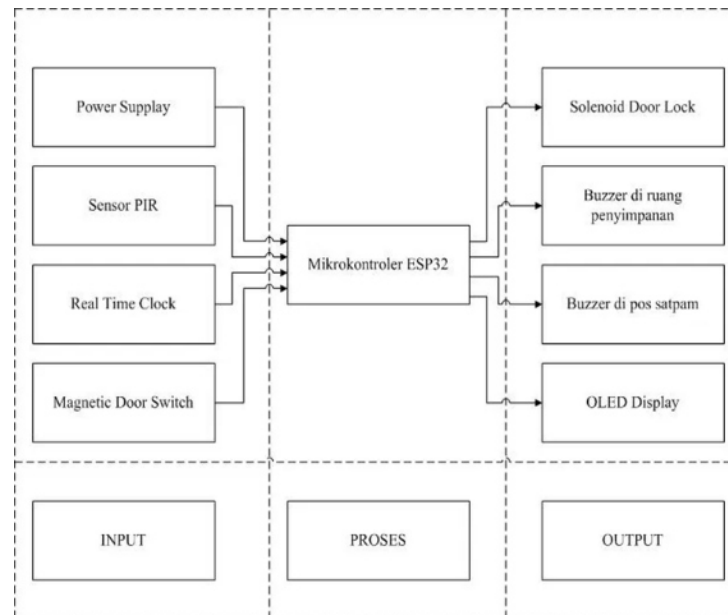
C. Perencanaan Sistem Penguncian Otomatis

Fase perencanaan bertujuan membangun kerangka konseptual sistem yang terbagi menjadi tiga tahapan utama, yaitu diagram blok, flowchart sistem, dan wiring diagram.

1. Diagram Blok

Peneliti membuat diagram blok yang memperlihatkan alur operasional dan keterkaitan antara elemen-elemen sistem. Secara keseluruhan sistem terbagi menjadi tiga komponen utama, yaitu blok input, proses, dan output. Blok input terdiri dari power supply, sensor PIR HC-SR501, modul RTC DS3231, dan magnetic door switch MC-38. Blok proses adalah mikrokontroler ESP32 sebagai otak sistem. Blok output meliputi solenoid door lock, buzzer, dan OLED display. Sistem dirancang untuk beroperasi dalam dua mode: mode standby selama jam kerja (06.00–17.00) dan mode keamanan aktif di luar jam kerja (17.00–06.00). Saat mode keamanan aktif,

setiap gerakan yang terdeteksi sensor PIR akan memicu alarm ganda dan notifikasi Telegram secara bersamaan, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



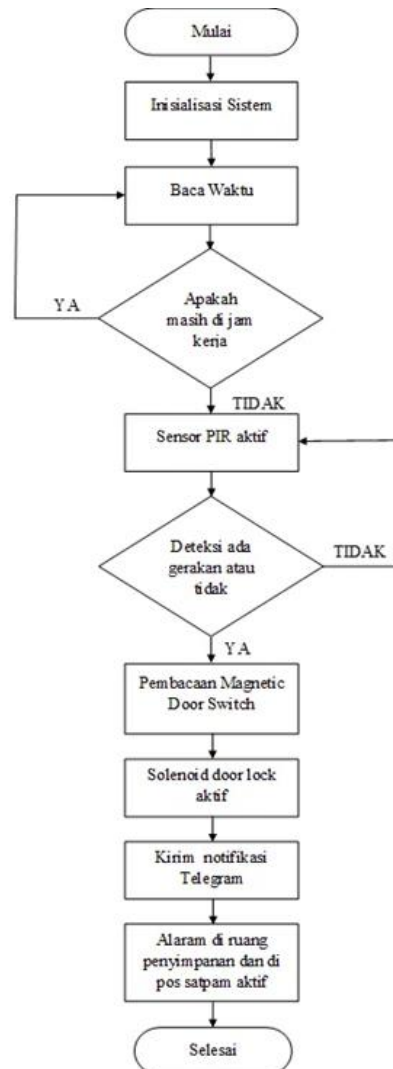
Gambar 1. Diagram Blok Sistem Penguncian Otomatis

2. Flowchart Sistem

Diagram alur (flowchart) sistem dibuat agar proses kinerja alat menjadi lebih jelas dan sistematis, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Flowchart ini memudahkan proses perancangan alat baik dari segi pembuatan perangkat lunak (software) maupun perangkat keras (hardware). Secara keseluruhan, alur kerja sistem terdiri dari sembilan tahap utama yang saling berurutan.

- 1) inisialisasi sistem. Pada saat alat dinyalakan untuk pertama kalinya, mikrokontroler ESP32 melakukan pengaturan awal terhadap semua modul dan komponen yang terhubung, termasuk sensor PIR, solenoid door lock, modul RTC, magnetic door switch, relay, buzzer, OLED, dan persiapan koneksi jaringan Wi-Fi, guna memastikan semua sensor dan aktuator dalam keadaan siap sebelum sistem beralih ke mode pemantauan.
- 2) pembacaan waktu menggunakan RTC DS3231. Setelah inisialisasi tuntas, sistem mengambil data waktu nyata melalui modul RTC. Data waktu ini berfungsi sebagai acuan untuk menetapkan status operasional, apakah sistem perlu berfungsi dalam mode standby selama jam kerja (06.00–17.00) atau dalam mode keamanan aktif di luar jam kerja (17.00–06.00).
- 3) penentuan status jam kerja. Sistem mengevaluasi apakah waktu saat ini berada di dalam atau di luar jadwal jam kerja. Apabila masih dalam jam kerja, sistem tetap dalam keadaan siaga dan tidak mengaktifkan alarm, sehingga tidak terjadi gangguan pada aktivitas operasional normal di ruang penyimpanan perkakas. Sebaliknya, jika berada di luar jam kerja, sistem beralih sepenuhnya ke mode keamanan aktif di mana setiap deteksi dianggap sebagai kemungkinan intrusi.
- 4) aktivasi sensor PIR. Dalam kondisi keamanan aktif, sensor PIR mulai mengawasi aktivitas di dalam ruang dengan mengandalkan perubahan radiasi inframerah yang dipancarkan oleh tubuh manusia.
- 5) deteksi gerakan: jika sensor PIR tidak mendeteksi pergerakan, sistem akan terus melakukan pengawasan secara berulang; jika pergerakan terdeteksi, sistem menganggap situasi tersebut sebagai potensi bahaya atau kegiatan mencurigakan.
- 6) pembacaan magnetic door switch. Setelah gerakan terdeteksi, sistem memeriksa status pintu untuk menentukan apakah pintu sedang terbuka, tertutup, atau ada upaya pembobolan. Penggabungan antara deteksi gerakan dan pengecekan status pintu meningkatkan ketepatan sistem dalam menilai situasi intrusi.

- 7) aktivasi solenoid door lock: jika situasi mencurigakan terkonfirmasi dan pintu dipastikan tertutup, solenoid door lock secara otomatis diaktifkan untuk mengunci pintu guna membatasi gerakan penyusup dan menghalangi keluarnya barang-barang dari ruang penyimpanan.
- 8) pengiriman notifikasi Telegram. Sistem mengirimkan pesan melalui bot Telegram yang memuat informasi mengenai deteksi gerakan yang terjadi, status pintu dan solenoid, lokasi kejadian, serta waktu kejadian secara real-time kepada petugas keamanan sehingga memungkinkan pengawasan jarak jauh.
- 9) aktivasi alarm ganda secara bersamaan: sinyal peringatan di area penyimpanan perkakas untuk mengejutkan dan memperlambat gerakan penyusup, sekaligus sinyal peringatan di pos penjagaan sebagai indikasi darurat agar petugas dapat segera bertindak. Dua mekanisme alarm ini meningkatkan kemungkinan pencegahan tindakan kriminal secara cepat dan efisien.

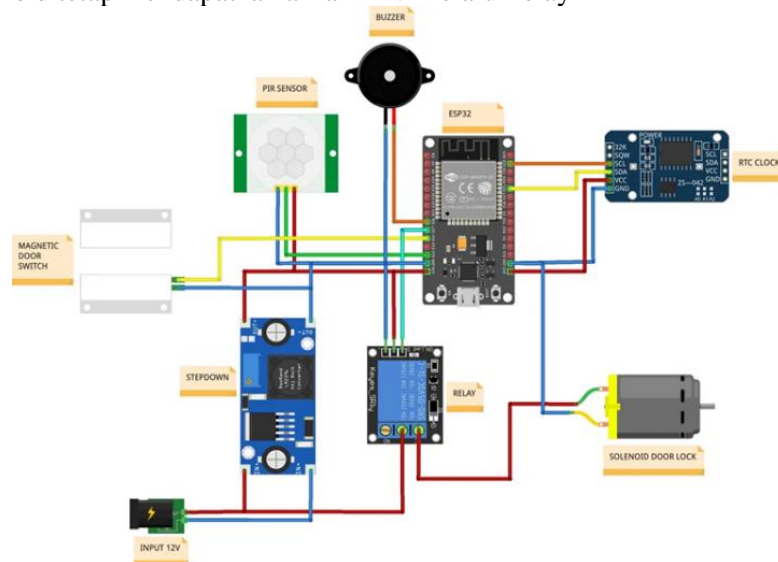


Gambar 2. Flowchart Sistem Penguncian Otomatis

3. Wiring Diagram

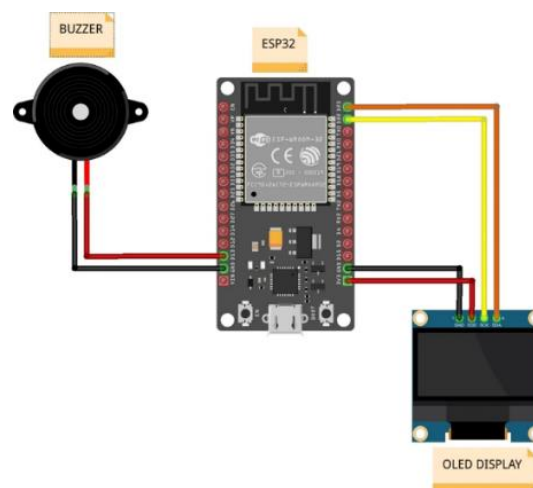
- 1) Rangkaian elektronik mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 dengan sensor (PIR, magnetic door switch), aktuator (solenoid door lock, relay, buzzer), dan modul pendukung (RTC, OLED). Di unit penyimpanan perkakas, ESP32 dihubungkan dengan sensor PIR di GPIO 13, relay solenoid di GPIO 27, buzzer di GPIO 26, dan magnetic door switch di GPIO 14, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.

Modul RTC DS3231 terhubung di GPIO 21 (SDA) dan GPIO 22 (SCL). Semua komponen menerima pasokan dari adaptor 12V yang diturunkan menggunakan modul step-down LM2596 menjadi 5V, sedangkan solenoid tetap mendapatkan aliran 12V melalui relay



Gambar 3. Wiring Diagram Sistem di Ruang Penyimpanan Perkakas

- 2) Pada unit pos keamanan, ESP32 terhubung dengan buzzer di GPIO 12 dan OLED indikator di GPIO 27, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Unit ini beroperasi sebagai node penerima sinyal alarm dari unit penyimpanan perkakas menggunakan protokol komunikasi nirkabel ESP-NOW.



Gambar 4. Wiring Diagram Sistem di Pos Satpam

D. Perancangan Sistem Penguncian Otomatis

Fase perancangan merupakan implementasi teknis dari perencanaan. Perancangan menghasilkan dua unit rangkaian elektronika yang saling terhubung melalui protokol komunikasi nirkabel ESP-NOW. Seluruh komponen dirakit ke dalam box plastik yang melindungi komponen dari debu dan kerusakan fisik.

- 1) Hasil perancangan rangkaian elektronika unit ruang penyimpanan perkakas ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Modul Unit Ruang Penyimpanan Perkakas

Gambar 5 menunjukkan hasil perakitan rangkaian elektronika pada unit ruang penyimpanan perkakas yang dikemas dalam box plastik ABS. Tampak modul relay 1 channel terpasang di bagian atas sebagai pengendali solenoid door lock 12V, diikuti modul step-down LM2596 untuk menurunkan tegangan dari 12V menjadi 5V. Mikrokontroler ESP32 terpasang di bagian tengah sebagai pusat pengendali sistem, sedangkan kabel merah, biru, kuning, dan hijau merepresentasikan jalur distribusi daya dan sinyal ke sensor PIR, magnetic door switch, RTC DS3231, dan buzzer.

- 1) Hasil perancangan unit receiver yang ditempatkan di pos satpam ditunjukkan pada Gambar 6. Unit ini dirancang lebih kompak karena hanya memerlukan ESP32, buzzer, dan OLED display sebagai komponen utama.



Gambar 6. Modul Unit Pos Satpam

Gambar 6 menunjukkan hasil perakitan rangkaian elektronika pada unit pos satpam yang juga dikemas dalam sebuah box. Mikrokontroler ESP32 terpasang sebagai pusat kendali penerima sinyal, dengan kabel-kabel warna yang terhubung ke buzzer dan OLED display melalui antarmuka I2C. Unit ini beroperasi sebagai node penerima yang menerima sinyal peringatan dari unit ruang penyimpanan perkakas melalui protokol komunikasi nirkabel ESP-NOW.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilaksanakan untuk memastikan semua elemen sistem penguncian otomatis berbasis PIR beroperasi sesuai rancangan. Pengujian mencakup pengujian fungsi keseluruhan alat dan pengujian perangkat lunak. Pengujian sistem terintegrasi dilakukan dengan memvariasikan jarak antara unit ruang perkakas dan unit pos satpam mulai dari 10 meter hingga 60 meter. Parameter yang diamati meliputi kondisi layar OLED, status aktuator, serta durasi waktu pengiriman sinyal dan notifikasi Telegram.

B. Hasil Pengujian Sistem Terintegrasi

Pengujian sistem terintegrasi dilakukan untuk memvalidasi alur kerja sistem secara keseluruhan, mulai dari deteksi awal sensor hingga memicu reaksi alarm di pos satpam. Pengujian difokuskan pada skenario di luar jam kerja dengan variasi jarak 10 hingga 60 meter. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sistem Terintegrasi

No	Status PIR	Relay (detik)	Buzzer Perkakas (detik)	Sinyal Pos Satpam (detik)	Notif Telegram (detik)	Jarak (meter)	Status
1	Terdeteksi	3,1	3,3	3,6	4,2	10	Berhasil
2	Terdeteksi	3,0	3,2	3,5	4,0	20	Berhasil
3	Terdeteksi	3,5	3,8	4,1	4,5	30	Berhasil
4	Terdeteksi	3,2	3,4	3,9	4,3	40	Berhasil
5	Terdeteksi	3,8	4,0	4,5	4,7	50	Berhasil
6	Terdeteksi	3,4	3,9	-	4,0	60	Sinyal Pos Gagal

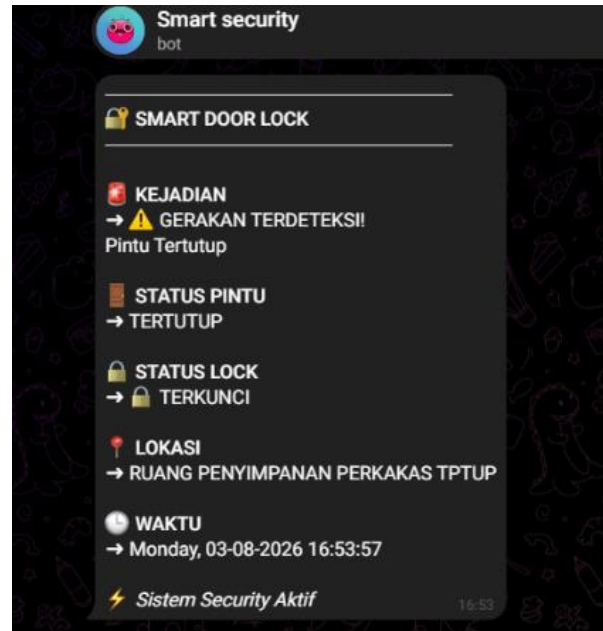
Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, seluruh komponen utama yang terdiri atas sensor PIR, relay, buzzer, komunikasi data menuju pos satpam, dan notifikasi Telegram mampu bekerja secara terpadu sesuai rancangan. Pada jarak komunikasi 10 hingga 50 meter, sensor PIR berhasil mendeteksi keberadaan objek. Waktu aktivasi relay berada pada rentang 3,0 hingga 3,8 detik, sedangkan waktu pengiriman notifikasi Telegram berada pada rentang 4,0 hingga 4,7 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan respons yang cepat sehingga potensi terjadinya pencurian dapat diminimalkan.

Pada jarak 60 meter, sensor PIR masih mampu mendeteksi keberadaan objek dan buzzer di ruang penyimpanan perkakas tetap menyala. Namun komunikasi data menuju pos satpam mengalami kegagalan sehingga alarm pada unit penerima tidak dapat diaktifkan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa jarak efektif komunikasi antarsistem berada pada rentang 10 hingga 50 meter

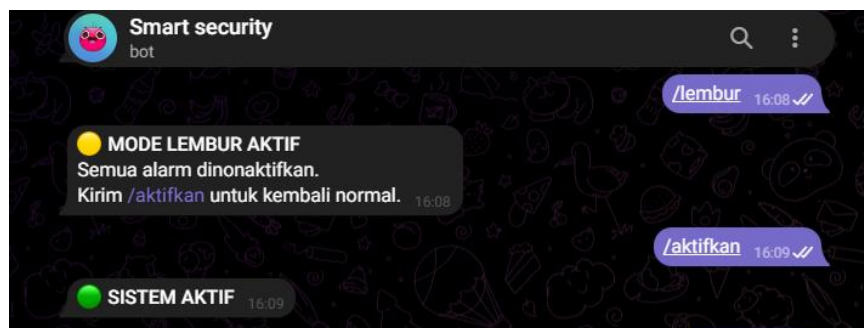
C. Hasil Pengujian Perangkat Lunak

Pengujian perangkat lunak dilaksanakan untuk memastikan kebenaran logika program yang beroperasi pada mikrokontroler ESP32. Hasil pengecekan logika kondisi menunjukkan bahwa sistem tidak mengaktifkan alarm selama jam kerja meskipun sensor PIR mendeteksi gerakan, sesuai dengan desain yang telah ditentukan.

Pengecekan integrasi bot Telegram menunjukkan bahwa notifikasi berhasil dikirimkan ke akun Telegram pengelola dengan isi pesan mencakup waktu kejadian, status pintu, status solenoid, dan lokasi kejadian. Waktu rata-rata pengiriman notifikasi Telegram melalui API Bot adalah 1,3 detik (diukur dari saat perintah pengiriman dieksekusi hingga respons API diterima). Waktu ini berbeda dengan waktu total notifikasi pada pengujian terintegrasi (4,0–4,7 detik) yang mencakup seluruh proses mulai dari deteksi PIR, aktivasi relay, hingga notifikasi diterima. Program beroperasi dengan stabil selama pengujian tanpa mengalami crash ataupun reboot yang tidak terduga. Sistem juga menyediakan perintah /lembur untuk menonaktifkan alarm sementara dan /aktifkan untuk mengaktifkan kembali sistem. Hasil pengujian disajikan pada gambar 7 dan gambar 8.



Gambar 7. Notifikasi Telegram



Gambar 8. Perintah Melalui Telegram

IV. KESIMPULAN

Sistem keamanan ruang penyimpanan perkakas berbasis Internet of Things (IoT) berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan mengintegrasikan sensor PIR, solenoid door lock, buzzer, ESP32, komunikasi nirkabel ESP-NOW, dan aplikasi Telegram. Seluruh komponen dapat bekerja secara terpadu sesuai fungsi yang direncanakan. Sensor PIR mampu mendeteksi adanya pergerakan di area ruang penyimpanan perkakas, kemudian sistem secara otomatis mengaktifkan buzzer, mengunci pintu menggunakan solenoid door lock, mengirimkan data ke unit penerima, serta mengirimkan notifikasi kepada petugas keamanan melalui aplikasi Telegram. Rata-rata waktu respons sistem (aktivasi relay) adalah 3,4 detik, sedangkan notifikasi Telegram terkirim rata-rata dalam 4,3 detik dari saat deteksi PIR. Komunikasi data antara dua unit ESP32 dapat bekerja dengan akurat pada jarak 10 hingga 50 meter. Pada jarak 60 meter, komunikasi data mengalami penurunan kualitas sehingga alarm pada unit penerima tidak dapat berfungsi secara optimal. Untuk pengembangan ke depan, disarankan mengintegrasikan modul LoRa untuk memperluas jangkauan komunikasi dan menambahkan UPS sebagai catu daya cadangan

V. DAFTAR PUSTAKA

Daftar pustaka mengikuti format IEEE seperti terlihat di bawah ini. Untuk memudahkan sangat dianjurkan untuk menggunakan *Endnotes Program* ataupun *Mendelay* di dalam mengatur daftar pustaka.

- [1] A. Ramawati, A. Faridah, Elida, dan R. R. Insan, "Manajemen Perawatan Dan Pemeliharaan Peralatan Dan Bahan Di Laboratorium Pendidikan," *J. Sci. Res. Dev.*, vol. 7, no. 1, pp. 125–135, 2025.
- [2] H. P. Indradi, M. A. Hayat, R. Q. Usulu, S. Kova, dan S. S. Maesaroh, "Manajemen Risiko Keamanan Aset Pada Laboratorium IoT Universitas Pendidikan Indonesia Kampus Tasikmalaya," *JIMF*, vol. 6, no. 2, pp. 102–116, 2023.
- [3] Hartini, S. Primaini, Nurhayani, dan D. D. Hartanto, "Aplikasi Mikrokontroler Arduino Uno Dalam Rancang Bangun Kunci Pintu Menggunakan E-KTP," *Jusikom*, vol. 7, no. 1, pp. 74–88, 2022.
- [4] Y. P. Perdana, D. Riyanto, dan J. S. Habibi, "Rancang Bangun System Alarm Anti Maling Pada Pompa Air Di Sawah Berbasis IoT," *SinarFe7*, vol. 7, no. 1, pp. 96–104, 2025.
- [5] F. Zaenaldi, A. Subki, A. Akbar, L. D. Samsumar, dan Supardianto, "Sistem Keamanan Pintu Rumah Menggunakan Sidik Jari Dan Keypad Berbasis Internet of Things," *J. Data Anal.*, vol. 1, no. 4, pp. 215–222, 2024.
- [6] N. Ma'muriyah, A. Yulianto, dan Tymoden, "Perancangan Sistem Smart Door Dengan Notifikasi Telegram," *J. Mahajana Inf.*, vol. 8, no. 2, pp. 64–71, 2024.
- [7] M. Ardiansyah, A. Febryan, Adriani, dan Rahmania, "Rancang Bangun Sistem Keamanan Rumah Berbasis Telegram Menggunakan ESP 32 CAM," *J. Tek. Elektro Unismuh*, vol. 15, no. 1, pp. 64–71, 2023.
- [8] R. Dwi Putra dan R. Mukhaiyar, "Perancangan Sistem Pemantau Keamanan Rumah Dengan Sensor PIR Dan Kamera Berbasis Mikrokontroler Dan Internet of Things (IoT)," *Ranah Research*, vol. 4, no. 2, pp. 201–209, 2022.
- [9] Mut'mainna, A. M. Rivai, A. Febisatria, T. Sarnawiyah, dan M. R. Setiawan, "Internet of Things (IoT) Sebagai Pilar Keamanan Data Pada Sistem Distribusi Di Indonesia," *J. Ilm. Ekon. Dan Manaj.*, vol. 3, no. 12, pp. 332–341, 2025.
- [10] D. Suryono, D. W., dan Chandra, "Analisis Keamanan Jaringan Hardware Trojan Pada IoT," *Jatisi*, vol. 9, no. 4, pp. 3529–3537, 2022.
- [11] A. Wibowo dan F. Kurniawan, "Implementasi Keamanan Ruangan Berbasis IoT Dengan Sensor PIR, Telegram, Dan Peringatan Suara," *J. Appl. Comput. Sci. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 172–178, 2024.