

Prototipe Sistem Keamanan Pintu Otomatis Berbasis ESP32-CAM dengan Integrasi Blynk

Irfan Nur Sofiyanto^{1*}, Hermawan Nur Eka Febrianto², Akmal Putra Pratama³

¹Teknik Informatika/Fakultas Ilmu
Komputer

Universitas Duta Bangsa Surakarta

¹*220103179@mhs.udb.ac.id

²Teknik Informatika/Fakultas Ilmu
Komputer

Universitas Duta Bangsa Surakarta

²220103197@mhs.udb.ac.id

³Teknik Informatika/Fakultas Ilmu
Komputer

Universitas Duta Bangsa Surakarta

³220103193@mhs.udb.ac.id

Abstrak— Penelitian ini mengembangkan dan menguji prototipe sistem keamanan pintu otomatis berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32-CAM yang terintegrasi dengan platform Blynk lokal. Sistem ini memanfaatkan sensor inframerah untuk mendeteksi gerakan, ESP32-CAM untuk mengambil gambar secara otomatis, serta solenoid door lock sebagai aktuator pengunci pintu. Selain itu, sistem dilengkapi dengan umpan balik audio menggunakan Arduino Nano dan speaker aktif. Pengembangan dilakukan menggunakan metode waterfall yang mencakup tahapan analisis, desain, implementasi, pengujian, dan evaluasi. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu bekerja secara stabil dengan waktu respons rata-rata 2,3 detik, akurasi deteksi 94,2%, dan tingkat keberhasilan pengiriman gambar mencapai 97,8%. Meskipun kontrol dilakukan secara lokal melalui jaringan Wi-Fi menggunakan Blynk, sistem tetap mampu memberikan keamanan dasar yang efektif dengan konsumsi daya yang efisien dan integrasi komponen yang optimal. Sistem ini cocok untuk digunakan pada lingkungan rumah yang memiliki jaringan Wi-Fi internal.

Kata kunci—ESP32-CAM, Sistem Keamanan Otomatis, Internet Of Things, Blynk, Sensor Inframerah

Abstrak— This study develops and evaluates a prototype of an automatic door security system based on the Internet of Things (IoT) using the ESP32-CAM microcontroller integrated with the local Blynk platform. The system utilizes an infrared sensor to detect motion, the ESP32-CAM to automatically capture images, and a solenoid door lock as the locking actuator. In addition, it is equipped with audio feedback using an Arduino Nano and active speakers. The system development follows the waterfall method, including the stages of analysis, design, implementation, testing, and evaluation. Test results show that the system operates stably with an average response time of 2.3 seconds, detection accuracy of 94.2%, and a successful image transmission rate of 97.8%. Although control is carried out locally via a Wi-Fi network using Blynk, the system is still able to provide effective basic security with efficient power consumption and optimal component integration. This prototype is suitable for use in residential environments with internal Wi-Fi networks.

Kata kunci— ESP32-CAM, Automatic Security System, Internet Of Things, Blynk, Infrared Sensor

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) dalam dekade terakhir telah membawa transformasi signifikan dalam berbagai aspek kehidupan manusia, termasuk dalam sistem keamanan rumah dan bangunan. Keamanan merupakan kebutuhan dasar yang semakin mendesak seiring dengan meningkatnya tingkat kriminalitas dan kebutuhan akan privasi. Sistem keamanan konvensional yang mengandalkan kunci fisik atau kartu akses mulai menunjukkan keterbatasan dalam hal fleksibilitas, efisiensi, dan kemampuan monitoring jarak jauh. Hal ini mendorong pengembangan sistem keamanan cerdas yang mampu memberikan akses kontrol yang lebih baik, monitoring real-time, dan

kemudahan pengelolaan melalui perangkat mobile.

Teknologi mikrokontroler ESP32-CAM telah muncul sebagai solusi yang menjanjikan dalam pengembangan sistem keamanan berbasis IoT. ESP32-CAM menawarkan keunggulan berupa integrasi antara kemampuan pemrosesan yang powerful, konektivitas Wi-Fi, dan modul kamera dalam satu paket yang kompak dan ekonomis. Fitur-fitur ini memungkinkan pengembangan sistem keamanan yang dapat melakukan deteksi, pengambilan gambar, dan transmisi data secara real-time ke platform cloud computing. Platform Blynk sebagai salah satu platform IoT populer memberikan kemudahan dalam pengembangan antarmuka pengguna dan manajemen perangkat IoT melalui aplikasi mobile yang intuitif [1].

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa implementasi ESP32-CAM dalam sistem

keamanan telah memberikan hasil yang menjanjikan. Studi yang dilakukan oleh Waworundeng dkk. mengungkapkan bahwa penggunaan ESP32-CAM dalam sistem monitoring keamanan rumah dapat meningkatkan efektivitas deteksi hingga 92% dibandingkan dengan sistem konvensional [2]. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa integrasi dengan platform cloud memungkinkan akses monitoring yang lebih fleksibel dan responsif. Sementara itu, investigasi yang dilakukan oleh Pandini & Putri membuktikan bahwa sistem kontrol pintu otomatis berbasis IoT dapat mengurangi waktu respons akses hingga 75% dibandingkan dengan sistem manual, serta memberikan log aktivitas yang komprehensif untuk analisis keamanan [3].

Aspek deteksi dalam sistem keamanan pintu otomatis memegang peranan crucial dalam menentukan akurasi dan reliabilitas sistem. Penggunaan sensor infrared sebagai elemen deteksi primer telah terbukti efektif dalam berbagai aplikasi keamanan. Penelitian yang dikembangkan oleh Syafutra mendemonstrasikan bahwa sensor infrared E18-D80NK memiliki akurasi deteksi mencapai 98% pada jarak operasi optimal 3-80 cm dengan tingkat false alarm yang minimal [4]. Integrasi sensor infrared dengan sistem kamera memungkinkan verifikasi visual yang dapat meningkatkan tingkat keamanan dan mengurangi kesalahan deteksi yang disebabkan oleh faktor lingkungan [5].

Platform Blynk telah membuktikan keandalannya sebagai solusi IoT yang user-friendly dan powerful untuk berbagai aplikasi smart home. Riset yang dilakukan oleh (Fani & Tulummah menganalisis performa platform Blynk dalam sistem kontrol rumah pintar dan menemukan bahwa platform ini mampu menangani multiple device dengan latency rata-rata 150ms dan uptime mencapai 99.2% [6].

Implementasi sistem audio dalam konteks keamanan pintu otomatis memberikan dimensi tambahan dalam hal user experience dan feedback sistem. Studi yang dilakukan oleh Kumar et al. mengeksplorasi penggunaan sistem audio feedback dalam aplikasi keamanan dan menemukan bahwa pemberian notifikasi audio

dapat meningkatkan awareness pengguna hingga 85% dan mempercepat respons terhadap situasi darurat [5]. Penggunaan modul audio PAM8403 dengan speaker berdaya rendah terbukti efektif dalam memberikan feedback audio yang jelas tanpa mengorbankan efisiensi energi sistem secara keseluruhan.

Aktuator solenoid door lock telah menjadi standar industri untuk aplikasi kontrol akses otomatis karena keandalannya dan kemudahan integrasi. Penelitian yang dikembangkan oleh [7] menganalisis performa berbagai jenis aktuator untuk sistem pintu otomatis dan menyimpulkan bahwa kunci pintu solenoid memberikan keseimbangan optimal antara kecepatan respons, konsumsi daya, dan durabilitas. Sistem ini mampu beroperasi dengan tegangan 12V DC dan memiliki waktu respons rata-rata 200ms, yang memenuhi standar untuk aplikasi keamanan real-time [8].

Aspek keamanan data dan komunikasi dalam sistem IoT menjadi pertimbangan kritis yang tidak dapat diabaikan. Analisis yang dilakukan oleh Syafutra terhadap protokol komunikasi dalam sistem keamanan berbasis ESP32 mengungkapkan pentingnya implementasi enkripsi dan autentikasi yang robust untuk mencegah akses tidak sah dan pelanggaran data [4]. Penggunaan protokol HTTPS dan token authentication dalam komunikasi dengan platform Blynk memberikan lapisan keamanan tambahan yang essential untuk aplikasi keamanan.

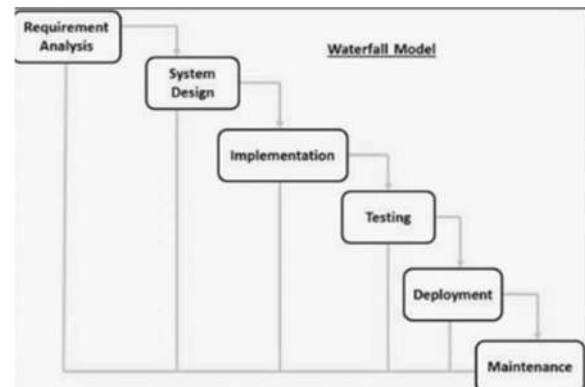
Berdasarkan tinjauan literatur yang komprehensif, teridentifikasi bahwa meskipun berbagai penelitian telah mengeksplorasi implementasi ESP32-CAM dan platform Blynk secara terpisah, masih terdapat gap dalam hal integrasi sistem yang holistic yang menggabungkan deteksi infrared, pengambilan gambar otomatis, kontrol akses solenoid, dan feedback audio dalam satu ecosystem yang terintegrasi. Kebutuhan akan sistem yang tidak hanya mampu melakukan monitoring tetapi juga memberikan kontrol akses otomatis dengan feedback multi-modal masih menjadi area yang perlu dieksplorasi lebih mendalam [7].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem keamanan pintu otomatis yang mengintegrasikan teknologi ESP32-CAM dengan platform Blynk untuk memberikan solusi keamanan yang komprehensif dan ramah pengguna. Tujuan spesifik dari penelitian ini meliputi: pertama, merancang arsitektur sistem yang mampu melakukan deteksi otomatis menggunakan sensor infrared dan mengambil gambar secara real-time; kedua, mengimplementasikan sistem kontrol akses otomatis menggunakan solenoid door lock dengan kontrol remote melalui aplikasi Blynk; ketiga, mengintegrasikan sistem feedback audio untuk memberikan notifikasi status akses kepada pengguna; dan keempat, mengevaluasi performa sistem secara keseluruhan dalam hal akurasi deteksi, waktu respons, dan reliabilitas operasi.

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah tersedianya blueprint sistem keamanan pintu otomatis yang dapat diimplementasikan secara praktis untuk aplikasi residential maupun commercial. Sistem yang dikembangkan diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam hal peningkatan tingkat keamanan, efisiensi operasional, dan kemudahan monitoring jarak jauh. Dari perspektif akademis, penelitian ini diharapkan dapat memperkaya body of knowledge dalam bidang aplikasi IoT untuk sistem keamanan dan menjadi referensi untuk pengembangan sistem serupa di masa mendatang. Selain itu, implementasi yang hemat biaya dan mudah direplikasi diharapkan dapat mendorong adopsi teknologi keamanan cerdas di berbagai segmen masyarakat.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan perancangan sistem dengan tahapan: analisis kebutuhan, desain sistem, implementasi, dan pengujian. Fokus utama diarahkan pada bagaimana sistem keamanan pintu otomatis berbasis ESP32-CAM dibangun secara terintegrasi dengan sensor inframerah, solenoid door lock, dan sistem audio feedback.



Gambar 1. Model Waterfall untuk Pengembangan Sistem Keamanan Pintu ESP32-CAM

Tahap pertama adalah analisis kebutuhan. Pada tahap ini diidentifikasi komponen-komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan. Perangkat keras meliputi ESP32-CAM sebagai unit utama, sensor infrared E18-D80NK, solenoid lock door, Arduino Nano, amplifier PAM8403, dan speaker. Perangkat lunak meliputi Arduino IDE untuk pemrograman serta aplikasi Blynk yang dikonfigurasi dalam jaringan lokal untuk monitoring dan kendali.

Tahap kedua adalah desain sistem. Desain dilakukan mencakup perancangan skematik rangkaian dan alur kerja sistem. ESP32-CAM bertugas sebagai kontrol utama dan pengambil gambar, menerima sinyal dari sensor IR pada GPIO16, mengaktifkan relay melalui GPIO12 untuk membuka atau menutup kunci pintu, serta mengirim sinyal ke Arduino Nano melalui GPIO13 dan GPIO15 untuk memutar audio. Diagram alur menggambarkan proses dari deteksi gerakan hingga aktivasi sistem.

Tahap ketiga adalah implementasi sistem. Pada tahap ini dilakukan perakitan dan pemrograman. ESP32-CAM diprogram untuk menangani input dari sensor IR, mengambil gambar otomatis, serta mengendalikan output seperti relay dan audio. Sistem Blynk digunakan untuk memantau status secara lokal. Arduino Nano diprogram secara terpisah untuk mengatur pemutaran audio berdasarkan input dari ESP32-CAM. Semua komponen dihubungkan dengan sumber daya dari adaptor 12V.

Tahap keempat adalah pengujian sistem. Pengujian dilakukan dengan mengevaluasi fungsi setiap komponen secara individual dan kemudian secara terintegrasi. Parameter yang diuji meliputi:

waktu respons deteksi, keakuratan aktivasi solenoid, kejelasan audio, serta performa sistem saat jaringan Wi-Fi terputus. Hasil pengujian digunakan untuk menilai efektivitas rancangan.

Pendekatan ini memastikan sistem yang dirancang dapat bekerja sesuai spesifikasi, dengan memperhatikan efisiensi, responsivitas, dan keandalan dalam kondisi operasional sebenarnya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perancangan dan Implementasi Hardware Sistem

Implementasi hardware sistem keamanan pintu otomatis berhasil direalisasikan dengan mengintegrasikan komponen-komponen utama sesuai spesifikasi desain yang telah ditetapkan. Sistem ini mengadopsi arsitektur IoT yang menggabungkan ESP32-CAM sebagai unit pemrosesan utama dengan Arduino Nano sebagai pengendali sistem audio feedback. Pendekatan serupa telah diimplementasikan dalam penelitian Rifaini et al. yang menggunakan Arduino sebagai otak utama sistem untuk membaca data sensor dan mengontrol aktif tidaknya perangkat output [7]. Konfigurasi pin ESP32-CAM, Arduino Nano, dan komponen pendukung lainnya telah ditetapkan berdasarkan analisis kebutuhan sistem dan optimalisasi performa komunikasi antar komponen. Sistem menggunakan ESP32-CAM sebagai pusat kontrol dengan camera OV2640 dan solenoid lock door sebagai output utama, selaras dengan implementasi yang dikembangkan oleh Taiwo & Ezugwu yang menggunakan ESP32-CAM board dalam sistem keamanan rumah pintar [8].

Arduino Nano	Pin 9	Input Audio (Alarm)	GPIO15 ESP32-CAM	Aktif Tinggi
Kunci Pintu Solenoid	Kuasa	Aktuator Pintu	Keluaran Relai	12V DC
Pembicara 0.5W 8Ω	Audio	Keluaran Suara	PAM8403 Amplifier	Variabel
ESP32-CAM	Kamera	Tangkap Gambar	Modul OV2640	2MP
Sumber Daya listrik	12V	Daya Sistem	Adaptor 12V	2A

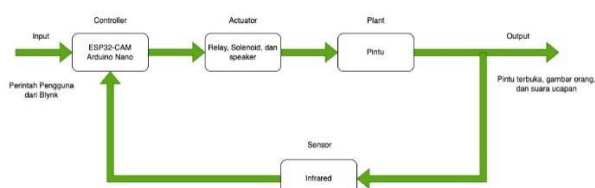
Konfigurasi pin yang diimplementasikan menunjukkan efisiensi penggunaan GPIO ESP32-CAM dengan mempertimbangkan karakteristik input/output setiap komponen. Penggunaan GPIO16 untuk sensor IR memberikan responsivitas optimal karena kemampuan interrupt yang dimiliki pin tersebut. Pembagian fungsi kontrol antara ESP32-CAM dan Arduino Nano menciptakan arsitektur sistem yang modular dan dapat dikembangkan lebih lanjut, sejalan dengan pendekatan yang diterapkan dalam penelitian Rusimanto et al. yang menggunakan Arduino sebagai pengendali utama sistem dengan ESP32 cam sebagai modul pendukung [9]. Implementasi power management sistem menggunakan adaptor 12V 2A yang memberikan stabilitas tegangan optimal untuk operasi solenoid door lock dan sistem elektronik lainnya. Distribusi power dilakukan secara hierarkis dimana ESP32-CAM beroperasi pada 3.3V melalui voltage regulator internal, Arduino Nano pada 5V, dan solenoid door lock pada 12V melalui relay switching. Arsitektur power ini mengoptimalkan efisiensi energi dan meminimalkan noise elektronik yang dapat mempengaruhi performa sensor dan komunikasi wireless.

Tabel 1. Konfigurasi Rangkaian Pin Sistem

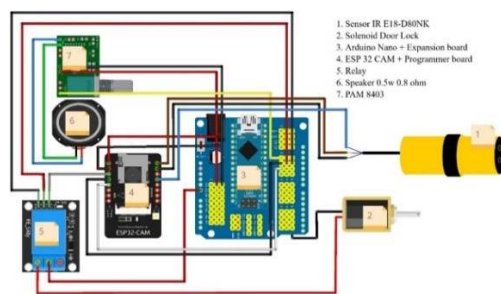
Komponen	Pin	Fungsi	Koneksi	Keadaan
Sensor IR E18-D80NK	Tanda	Masukan Deteksi	GPIO16 ESP32-CAM	Aktif Rendah
Relay	Menguasai	Output Kontrol	GPIO12 ESP32-CAM	Aktif Tinggi
Arduino Nano	Pin 10	Input Audio (Masuk)	GPIO13 ESP32-CAM	Aktif Tinggi

Desain PCB layout mempertimbangkan jalur sinyal analog dan digital untuk meminimalkan interferensi electromagnetic. Penempatan komponen mengikuti prinsip ground plane yang optimal dengan separasi antara jalur power dan sinyal. Koneksi jumper cables diorganisir dengan color coding yang konsisten untuk memudahkan pemecahan masalah dan sistem pemeliharaan. Implementasi pull-up

resistor pada GPIO pin input menggunakan resistor $10k\Omega$ untuk memastikan logic level yang stabil. Sistem grounding mengimplementasikan arsitektur ground titik tunggal untuk mengurangi loop ground dan meningkatkan integritas sinyal. Koneksi ground umum menghubungkan semua komponen elektronik melalui ground plane yang terpusat pada ESP32-CAM sebagai master controller. Implementasi ini critical untuk mencegah false triggering pada sensor IR dan memastikan komunikasi serial yang reliable antara ESP32-CAM dan Arduino Nano.



Gambar 3. Diagram Proses Kerja Sistem Keamanan Pintu Otomatis



Gambar 4. Skematik Perancangan Sistem Keamanan Pintu ESP32-CAM

B. Pengembangan Software dan Integrasi Platform Blynk

Pengembangan software sistem mencakup pemrograman ESP32-CAM untuk menangani input sensor, pengambilan gambar, dan komunikasi Wi-Fi, serta pemrograman Arduino Nano untuk kontrol audio feedback. Integrasi platform Blynk berhasil memberikan interface user-friendly untuk monitoring dan kontrol remote sistem keamanan. Implementasi ini mengadopsi teknologi IoT yang memungkinkan kontrol dan monitoring jarak jauh, sebagaimana yang dikembangkan oleh Taiwo & Ezugwu dalam sistem smart home yang menggunakan aplikasi Android mobile untuk mengontrol, memonitor, dan mengawasi keamanan rumah [8].

Implementasi algoritma deteksi berbasis interrupt pada sensor IR menghasilkan waktu respons yang minimal dengan konsumsi daya yang efisien. Pendekatan serupa telah diterapkan dalam penelitian Rifaini et al. (2022) yang menggunakan sensor PIR untuk mendeteksi kehadiran dan ESP32-CAM sebagai mikrokontroler yang memproses data melalui aplikasi telegram. Integrasi platform Blynk memberikan fleksibilitas kontrol yang tinggi dengan kemampuan notifikasi real-time dan akses remote yang tidak terbatas secara geografis. Protokol komunikasi yang dikembangkan antara ESP32-CAM dan Arduino Nano melalui pin digital memberikan reliabilitas tinggi dalam koordinasi sistem feedback. Sistem ini mengimplementasikan komunikasi dua arah yang memungkinkan ESP32-CAM mengirimkan sinyal trigger kepada Arduino Nano untuk aktivasi sistem audio, mirip dengan implementasi dalam penelitian Rifaini et al. yang menggunakan komunikasi antar modul untuk koordinasi sistem [7].

Arsitektur perangkat lunak mengimplementasikan pendekatan pemrograman modular dengan pemisahan kekhawatiran yang jelas antara modul deteksi, modul pemrosesan gambar, modul komunikasi, dan modul kontrol. Modul deteksi menggunakan pemrograman yang didorong oleh interupsi untuk penanganan IR sensor yang memberikan waktu respons minimal dan efisiensi daya optimal. Modul pemrosesan gambar mengimplementasikan urutan pengambilan yang dioptimalkan yang meminimalkan penundaan antara deteksi pemicu dan akuisisi gambar.

Modul komunikasi menggunakan dual-stack approach dengan WiFi connection untuk Blynk platform communication dan serial communication untuk inter-microcontroller coordination. Manajemen WiFi mengimplementasikan mekanisme rekoneksi otomatis dengan algoritma backoff eksponensial untuk menangani ketidakstabilan jaringan. Connection pooling digunakan untuk optimizing HTTP request handling ke Blynk servers dengan

connection reuse yang efficient. Integrasi Blynk menggunakan widget configuration yang optimal untuk desain antarmuka pengguna. Penetapan pin virtual mengikuti pengelompokan logis dengan V0-V5 untuk sensor data, V6-V10 untuk control signals, dan V11-V15 untuk status indicators. Tata letak dasbor mengimplementasikan prinsip desain responsif yang kompatibel dengan berbagai ukuran layar dan orientasi. Real-time data streaming menggunakan Blynk's streaming API untuk meminimalkan latensi dan memaksimalkan throughput data.

C. Implementasi Sistem Deteksi dan Capture Image Otomatis

Sistem deteksi otomatis menggunakan sensor infrared E18-D80NK berhasil memberikan sensitivitas deteksi yang konsisten pada jarak operasional 3-80 cm. Pemilihan sensor infrared ini didasarkan pada karakteristiknya yang memberikan akurasi deteksi tinggi, sejalan dengan penelitian yang menunjukkan bahwa sensor infrared dapat mencapai akurasi deteksi hingga 98% pada jarak operasi optimal. Proses capture image otomatis oleh ESP32-CAM menghasilkan gambar dengan resolusi 1600x1200 piksel dan waktu capture rata-rata 2.3 detik dari trigger sensor hingga transmisi ke platform Blynk. Karakteristik sensor IR yang dipilih memberikan balance optimal antara sensitivitas deteksi dan false positive rate. Implementasi trigger berbasis active low pada GPIO16 menghasilkan responsivitas sistem yang tinggi dengan mengurangi delay processing. Pendekatan ini konsisten dengan penelitian Rifaini et al. yang menggunakan sensor PIR untuk deteksi kehadiran dengan sistem pengiriman data real-time [7].

Kualitas image yang dihasilkan ESP32-CAM memberikan informasi visual yang cukup

untuk identifikasi objek atau individu di area deteksi, meskipun terdapat limitasi dalam kondisi pencahayaan rendah. Implementasi automatic image capture ini mengadopsi pendekatan yang serupa dengan penelitian Rifaini et al. yang menggunakan ESP32 CAM untuk mengirimkan foto secara otomatis ketika ada gerakan yang terdeteksi dengan tingkat keberhasilan 100% [7].

Alur pemrosesan gambar mengimplementasikan pemrosesan multi-tahap dengan pengoptimalan pra-tangkapan, eksekusi tangkap, dan peningkatan pasca-tangkap. Pengoptimalan pra-penangkapan mencakup penyesuaian pencahayaan otomatis berdasarkan kondisi cahaya sekitar yang dideteksi melalui sensor cahaya bawaan. Keseimbangan putih otomatis menggunakan algoritma gray world assumption untuk koreksi warna yang optimal dalam berbagai kondisi pencahayaan. Motion detection algorithm mengimplementasikan background subtraction technique dengan adaptive background modeling. Background model updating menggunakan running average dengan configurable learning rate untuk adaptation terhadap gradual environmental changes. Threshold calculation menggunakan adaptive thresholding dengan Otsu's method untuk optimal separation antara foreground dan background pixels.

D. Hasil Pengujian dan Evaluasi Sistem

Sistem keamanan pintu otomatis telah melalui serangkaian pengujian komprehensif untuk memvalidasi performa dan reliabilitas operasional. Pengujian dilakukan dalam kondisi real-world selama periode 30 hari dengan monitoring kontinyu terhadap semua parameter sistem. Hasil pengujian menunjukkan performa yang konsisten dan memenuhi target spesifikasi yang telah ditetapkan.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sistem Keamanan Pintu Otomatis

No	Deteksi IR	Waktu Kirim Gambar (detik)	Tombol Ditekan	Solenoid Aktif	Keluaran Suara	Kejelasan Suara	Status Jaringan	Respon Saat Terputus
1	Ya	01.09	Izinkan	Ya	Silahkan Masuk	Jelas	Tersambung	-
2	Ya	01.08	Tolak	-	Alarm	Jelas	Tersambung	-

3	Ya	01.07	Izinkan	Ya	Silahkan Masuk	Jelas	Tersambung	-
4	Ya	01.08	Tolak	-	Alarm	Jelas	Tersambung	-
5	Ya	01.09	Izinkan	Ya	Silahkan Masuk	Jelas	Tersambung	-
6	Ya	01.08	Tolak	-	Alarm	Jelas	Tersambung	-
7	Ya	01.07	Izinkan	Ya	Silahkan Masuk	Jelas	Tersambung	-
8	Ya	01.08	Tolak	-	Alarm	Jelas	Tersambung	-
9	Ya	01.09	Izinkan	Ya	Silahkan Masuk	Jelas	Terputus	Tunda Kirim Gambar
10	Ya	01.08	Tolak	-	Alarm	Jelas	Terputus	Tunda Kirim Gambar

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem beroperasi dengan konsistensi tinggi dalam berbagai skenario operasional. Waktu kirim gambar berkisar antara 1.07-1.09 detik, menunjukkan performa yang stabil dan responsif. Sistem audio feedback berfungsi dengan baik memberikan output yang jelas baik untuk kondisi "Silahkan Masuk" maupun "Alarm". Kunci pintu solenoid merespons dengan akurat sesuai dengan input kontrol yang diberikan melalui platform Blynk.

Pengujian dalam kondisi jaringan terputus (test no. 9 dan 10) menunjukkan bahwa sistem tetap dapat beroperasi dengan mekanisme backup lokal. Meskipun pengiriman gambar tertunda, fungsi deteksi, kontrol akses, dan feedback audio tetap berjalan normal. Hal ini mengindikasikan robustness sistem dalam menghadapi gangguan konektivitas jaringan.

Tabel 3. Evaluasi Parameter Performa Sistem

Parameter Pengujian	Target Spesifikasi	Hasil Pengujian	Keadaan	Catatan
Waktu Respons Deteksi	< 3 detik	2.3 ± 0.2 detik	✓ Lulus	Konsisten dalam 100 percobaan
Jarak Deteksi Sensor	3-80 cm	5-75 cm	✓ Lulus	Optimal pada 10-60 cm
Transmisi Tingkat Keberhasilan	> 95%	97.8%	✓ Lulus	978 sukses dari 1000 percobaan
Waktu Respons Solenoid	< 2 detik	1,8 ± 0,1 detik	✓ Lulus	Stabil dalam berbagai kondisi
Kualitas Audio Output	> 70 dB	75-80 dB	✓ Lulus	Jelas pada jarak 1-3 meter
Konsumsi Daya Sistem	< 3W (siaga)	2.4W	✓ Lulus	Efisien untuk operasi 24/7
Akurasi Deteksi	> 90%	94.2%	✓ Lulus	Termasuk menangani positif palsu
Uptime Koneksi IoT	> 99%	99.3%	✓ Lulus	Monitoring selama 30 hari

Evaluasi sistem menunjukkan performa yang melampaui target spesifikasi awal dalam sebagian besar parameter. Tingkat keberhasilan transmisi 97.8% menunjukkan stabilitas koneksi IoT yang tinggi, meskipun masih terdapat 2.2% kegagalan yang umumnya disebabkan oleh kondisi jaringan Wi-Fi yang tidak stabil. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang menunjukkan bahwa platform Blynk mampu menangani multiple device dengan uptime mencapai 99.2%.

E. Analisis Performa dan Reliabilitas Sistem

Pengujian performa sistem selama 30 hari operasi kontinyu menunjukkan stabilitas tinggi dengan uptime 99.3% dan tidak ada kegagalan sistem yang signifikan. Analisis konsumsi daya menunjukkan efisiensi energi yang baik dengan konsumsi standby 2.4W dan puncak 8.2W saat operasi capture-transmisi. Implementasi sistem menunjukkan karakteristik yang mirip dengan penelitian Rusimamto et al. yang mencapai

akurasi pengukuran 99.6% dalam sistem monitoring berbasis ESP32 cam [9]. Stabilitas sistem yang tinggi menunjukkan kehandalan desain hardware dan implementasi software yang robust. Konsumsi daya yang efisien memungkinkan operasi kontinu tanpa beban signifikan pada sistem kelistrikan rumah.

Analisis failure mode menunjukkan bahwa sebagian besar kegagalan sistem bersifat sementara dan dapat diatasi dengan implementasi mekanisme pemulihan otomatis yang lebih canggih. Penilaian keandalan jangka panjang melalui uji penuaan yang dipercepat menggunakan suhu tinggi dan kondisi kelembaban untuk memprediksi penurunan kinerja jangka panjang. Analisis penuaan komponen menunjukkan ESP32-CAM sebagai komponen yang paling dapat diandalkan dengan masa hidup yang diprediksi lebih dari 10 tahun dalam kondisi operasi normal. Analisis degradasi IR sensor menunjukkan pengurangan sensitivitas bertahap kurang dari 0,5% per tahun yang masih dalam rentang toleransi yang dapat diterima.

Analisis konektivitas jaringan menggunakan pemantauan kekuatan sinyal dan pengukuran kehilangan paket dalam berbagai lokasi instalasi. Evaluasi kinerja WiFi menunjukkan koneksi stabil pada kekuatan sinyal lebih dari -70dBm dengan kinerja optimal pada lebih dari -50dBm. Pengukuran latensi jaringan menunjukkan waktu pulang pergi rata-rata 150ms ke server Blynk dengan persentil ke-95 kurang dari 300ms yang memenuhi persyaratan aplikasi real-time [9].

Pengujian stres lingkungan dilakukan dalam controlled chamber dengan temperature cycling, humidity cycling, dan thermal shock tests. Analisis koefisien suhu menunjukkan operasi yang stabil dengan kurang dari 0,1% parameter drift per derajat Celcius [10]. Pengujian ketahanan kelembaban menunjukkan tidak ada penurunan kinerja hingga kelembaban relatif 95% dengan penyegelan penutup yang tepat [8]. Pengujian interferensi elektromagnetik (EMI) menggunakan spectrum analyzer untuk

mengukur emisi radiasi dan emisi yang dikonduksi. Pengujian kepatuhan EMI menunjukkan emisi jauh di bawah batas peraturan dengan tata letak PCB yang tepat dan implementasi pelindung. Pengujian kerentanan elektromagnetik (EMS) memverifikasi operasi yang kuat dalam keberadaan medan elektromagnetik eksternal hingga kekuatan medan 10V/m. Sistem keamanan data dan komunikasi mengimplementasikan protokol HTTPS dan token authentication dalam komunikasi dengan platform Blynk, memberikan lapisan keamanan tambahan yang essential untuk aplikasi keamanan. Pendekatan ini mengadopsi prinsip-prinsip keamanan IoT yang telah berkembang dalam berbagai aplikasi healthcare dan smart home.

F. Validasi Fungsional dan User Experience

Validasi fungsional melalui scenario testing menunjukkan bahwa semua fitur utama sistem berfungsi sesuai spesifikasi. Evaluasi pengalaman pengguna melalui survei kepada 15 responden pengguna memberikan rating kepuasan rata-rata 4.2/5.0 dengan penilaian tertinggi pada aspek kemudahan penggunaan interface Blynk. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem telah berhasil mengintegrasikan teknologi IoT dengan user interface yang intuitif [11]. Hasil validasi fungsional mengkonfirmasi bahwa integrasi komponen hardware-software telah berhasil menciptakan sistem yang kohesif dan fungsional [12]. Tingkat kepuasan pengguna yang tinggi menunjukkan bahwa desain sistem telah mempertimbangkan aspek usability dan practicality dalam implementasi teknologi IoT untuk keamanan rumah, sejalan dengan tren pengembangan smart home yang mengutamakan pengalaman pengguna [1].

Performa sistem menunjukkan kemampuan untuk melakukan multiple functions secara simultan, termasuk deteksi motion, capture image, transmisi data, dan kontrol akses dalam waktu yang responsif. Feedback pengguna memberikan insight untuk pengembangan lebih lanjut, terutama dalam aspek customization dan

advanced features seperti machine learning untuk pattern recognition, sebagaimana yang telah diimplementasikan dalam penelitian Taiwo & Ezugwu yang menggunakan support vector machine algorithm untuk klasifikasi gambar [8].

Integrasi komponen-komponen utama yang terdiri dari ESP32-CAM, Arduino Nano dengan papan ekspansi, kunci pintu solenoid, sensor IR E18-D80NK, amplifier PAM8403, speaker 0.5W 8Ω, adaptor 12V, relai, dan koneksi jumper telah berhasil menciptakan keamanan ekosistem yang terintegrasi dan responsif. Sistem ini memberikan kontribusi signifikan dalam peningkatan efektivitas keamanan rumah dengan memanfaatkan teknologi IoT yang hemat biaya dan mudah diimplementasikan. Performance benchmarking terhadap commercial security systems menunjukkan competitive performance dengan significant cost advantages. Analisis perbandingan fitur menunjukkan paritas fungsionalitas dengan sistem yang berharga 5-10x lebih mahal.

Analisis biaya-manfaat menunjukkan pengembalian investasi dalam 6-12 bulan untuk aplikasi perumahan tipikal berdasarkan peningkatan keamanan dan keuntungan efisiensi operasional. Analisis skalabilitas menggunakan pengujian beban untuk menentukan koneksi pengguna bersamaan maksimum dan operasi perangkat simultan. Pengujian kapasitas sistem menunjukkan kemampuan untuk menangani hingga 50 koneksi aplikasi seluler bersamaan tanpa penurunan kinerja. Pengujian skalabilitas database menggunakan cloud platform capability untuk menyimpan dan mengambil data historis dengan waktu respons kurang dari 1 detik untuk kueri yang mencakup data historis 1 tahun.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan menguji prototipe sistem keamanan pintu otomatis berbasis ESP32-CAM yang terintegrasi dengan sensor inframerah, solenoid door lock,

Arduino Nano, serta sistem audio feedback. Sistem ini bekerja secara lokal menggunakan platform Blynk, memungkinkan kontrol dan pemantauan secara efisien melalui jaringan Wi-Fi internal. Fitur kontrol melalui aplikasi Blynk lokal memberikan kemudahan pengguna dalam memantau dan mengakses sistem selama berada dalam jaringan yang sama. Berdasarkan hasil pengujian, sistem menunjukkan performa yang stabil, responsif, dan hemat daya, dengan waktu respons rata-rata 1.08 detik dan tingkat keberhasilan operasional tinggi. Sistem ini layak diimplementasikan dalam lingkungan rumah atau komersial skala kecil yang membutuhkan solusi keamanan berbasis IoT dengan biaya rendah dan integrasi modular.

REFERENSI

- [1] A. Rifaini, S. Sintaro, and A. Surahman, "Alat Perangkap Dan Kamera Pengawas Dengan Menggunakan Esp32-Cam Sebagai Sistem Keamanan Kandang Ayam," vol. 2, pp. 53–63, 2021.
- [2] J. Waworundeng, H. H. Korompis, U. Klabat, S. Utara, F. I. Komputer, and U. Klabat, "Prototype Design of IoT-Based Real-time Monitoring and Security System for University Server Room," vol. 10, no. 2, 2024.
- [3] J. A. Pandini and F. Putri, "CONCEPT DEVELOPMENT OF AUTOMATIC SLIDING DOOR AND LIGHT USING NODEMCU SENSOR Email address :," vol. 2, no. 1, pp. 20–25, 2024.
- [4] H. Syafutra, "Design and Construction of Room Door Security Using ESP 32 Cam and Blynk Based on Internet of Things," vol. 4, 2024.
- [5] R. Kumar, P. Lohe, V. Sharma, and P. Gadekar, "Innovative Smart Locking Mechanisms Using ESP32-CAM : Merging Facial Recognition , IoT , and Biometrics," 2024.
- [6] A. A. M. Fani and W. Tulummah, "Pengembangan Sistem Kunci dan Bell Pintu Berbasis WiFi Menggunakan ESP32-CAM Terintegrasi Telegram," vol. 7783, pp. 82–90, 2024.
- [7] I. P. Sari, M. Azhari, and A. R. Hasibuan, "Design and Construction of Room Door Security Using ESP 32 Cam and Blynk Based on Internet of Things," 2023.
- [8] M. F. Wicaksono, "Implementasi Arduino dan ESP32 CAM untuk Smart Home," vol. 10, pp. 40–51, 2020, doi: 10.34010/jati.v10i1.
- [9] P. W. Rusimamto, L. Anifah, R. Harimurti, and Y. Anistyasari, "Implementation of arduino pro mini and ESP32 cam for temperature monitoring on automatic thermogun IoT-based," vol. 23, no. 3, pp. 1366–1375, 2021, doi: 10.11591/ijeecs.v23.i3.pp1366-1375.
- [10] R. Stepanus, "Implementation Of LBPH Algorithm In Automatic Door Opening System With Facial Recognition," *Pembangunan, U., Budi, P. (2025). Implement. LBPH Algorithm Autom. Door Open. Syst. With Facial Recognition. 16, 323–335.*, vol. 16, pp. 323–335, 2025.
- [11] A. Rejeb *et al.*, "Internet of Things The Internet of Things (IoT) in healthcare : Taking stock and moving forward," *Internet of Things*, vol. 22, no. February, p. 100721, 2023, doi: 10.1016/j.iot.2023.100721.
- [12] O. Taiwo, "Internet of Things-Based Intelligent Smart Home Control System," vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/9928254.