

RANCANG BANGUN SISTEM KEAMANAN BERBASIS INTERNET OF THINGS PADA WILAYAH KERJA DITPAM BP BATAM BANDARA HANG NADIM

AHMAD BAYU ZHAFRAN RAMADHAN¹ SATRIYA BAYU AJI²
Jurusan Teknik Informatika, Politeknik Negeri Batam
bayuzhafran421@gmail.com

Abstract

This study seeks to design and develop an Internet of Things (IoT)-based security system to enhance asset protection within the operational area of the Directorate of Security (Ditpam) of BP Batam at Hang Nadim Airport. The system was developed to address limitations of conventional security monitoring caused by large coverage areas and limited personnel. The study employed a Research and Development approach using the Rapid Application Development (RAD) model. The system integrated an ESP32-CAM module as the main controller and surveillance camera, a Passive Infrared Receiver (PIR) sensor for motion detection, a buzzer as a local alarm, and a Telegram Bot for real-time notifications. The results showed that the system successfully detected motion, captured images automatically, and transmitted alert notifications to security personnel. Performance testing indicated an average notification delay of 5.05 seconds and a 100% delivery success rate within a distance of 5–15 meters. The usability evaluation conducted using the System Usability Scale (SUS) produced an average score of 80.27, which falls into the excellent category and indicates a high level of user acceptance toward the system.

Keywords: Internet of Things, Security System, ESP32-CAM, PIR Sensor

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem keamanan aset berbasis Internet of Things (IoT) di wilayah kerja Direktorat Pengamanan (Ditpam) BP Batam pada Bandara Hang Nadim. Sistem dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan pengawasan konvensional akibat luasnya area pengamanan dan keterbatasan jumlah personel. Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan menerapkan model Rapid Application Development (RAD) sebagai pendekatan pengembangannya. Sistem dirancang menggunakan ESP32-CAM sebagai unit pemrosesan dan kamera, sensor Passive Infrared Receiver (PIR) sebagai pendeteksi gerakan, buzzer sebagai alarm lokal, serta Telegram Bot sebagai media notifikasi real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem beroperasi secara optimal dalam mendeteksi pergerakan, melakukan pengambilan gambar secara otomatis, serta mengirimkan notifikasi kepada petugas keamanan. Pengujian kinerja menunjukkan rata-rata delay notifikasi sebesar 5,05 detik dan tingkat keberhasilan pengiriman 100% pada jarak 5–15 meter. Hasil uji usability menggunakan System Usability Scale (SUS) memperoleh skor 80,27 yang termasuk kategori sangat baik.

Kata kunci: Internet of Things, Sistem Keamanan, ESP32-CAM, Sensor PIR,

1. PENDAHULUAN

Keamanan aset merupakan aspek krusial dalam mendukung keberlangsungan operasional suatu instansi, terutama pada kawasan strategis dengan tingkat aktivitas tinggi seperti bandara. Dalam menghadapi tantangan ini, perkembangan *Internet of Things (IoT)* menyediakan solusi alternatif yang signifikan untuk meningkatkan efektivitas sistem keamanan melalui pemantauan otomatis dan pengiriman informasi secara real-time tanpa intervensi manusia secara langsung. Penerapan sistem keamanan berbasis *IoT* dinilai mampu membantu petugas dalam melakukan pemantauan yang lebih responsif, efisien, dan fleksibel, terutama pada area yang sulit dijangkau atau memiliki keterbatasan pengawasan fisik.

Namun, pada praktiknya, Direktorat Pengamanan (Ditpam) BP Batam di Bandara Hang Nadim masih menghadapi berbagai kendala operasional, seperti keterbatasan jumlah personel dan luasnya wilayah pengamanan yang harus diawasi. Sistem pemantauan pada saat ini masih bersifat manual, bergantung pada patroli fisik serta pemantauan kamera CCTV secara berkala, yang berpotensi menimbulkan celah keamanan seperti keterlambatan deteksi kejadian (Ryani & Kurnia, 2021). Meskipun beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem keamanan berbasis IoT, fokusnya mayoritas masih terbatas pada objek rumah tinggal atau toko, dan belum banyak yang menekankan pada aspek mobilitas (*portable*) serta penerapan khusus untuk aset instansi pemerintahan di kawasan bandara. Sistem keamanan berbasis *Internet of Things (IoT)* mampu menyediakan informasi secara real-time serta analisis yang lebih komprehensif, sehingga mendukung pengambilan keputusan yang cepat dan tepat dalam menghadapi berbagai potensi ancaman. (Arri Ape Pane Basabilik, 2021).

Berdasarkan latar belakang permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem keamanan berbasis IoT dengan memanfaatkan ESP32-CAM dan sensor PIR yang terintegrasi dengan Bot Telegram sebagai media notifikasi. Sistem ini dirancang agar bersifat *portable* dan mampu bekerja secara otomatis dalam mendeteksi pergerakan, mengambil gambar, serta mengirimkan informasi peringatan secara real-time kepada petugas Ditpam BP Batam. Selain pengembangan perangkat keras, penelitian ini juga akan melakukan pengujian kinerja teknis dan evaluasi tingkat penerimaan pengguna memakai metode *System Usability Scale (SUS)* untuk memastikan sistem ini layak dan efektif digunakan dalam mendukung tugas pengamanan di lapangan.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Keamanan

Sistem keamanan merupakan langkah atau strategi yang digunakan oleh suatu individu atau kelompok untuk menjaga dan melindungi suatu entitas dari berbagai ancaman dan resiko yang mungkin akan terjadi. Keamanan merupakan hak asasi manusia yang harus diperoleh atau dinikmati oleh seluruh umat manusia. Perasaan aman mempunyai faktor yang sangat luas karena mencakup banyak aspek, meliputi aspek politik, hukum, pertahanan, keamanan, sosial hingga ekonomi (Iftikhar et al., 2023).

Sistem keamanan di suatu wilayah terbagi 2, yaitu:

1. Sistem Keamanan Manual

Sistem keamanan manual merupakan sistem keamanan yang tidak memerlukan teknologi terhadap proses keamanannya seperti kegiatan patroli warga, penguncian gembok, dan lain sebagainya.

2. Sistem Keamanan Otomatis

Sistem keamanan otomatis merupakan bentuk pengamanan yang memanfaatkan teknologi, seperti penggunaan sensor gerak, sensor suara, serta berbagai perangkat pendukung lainnya (Septian & Mufti Prasetyo, 2022). Selain itu, keamanan dan ketertiban masyarakat juga dijamin dalam sistem keamanan yang berlaku pada Pasal 1 Undang-Undang Kepolisian Negara Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2002, bahwa Keamanan dan ketertiban menjadi unsur fundamental dalam mendukung keberlangsungan pembangunan nasional guna mencapai tujuan negara, yang tercermin melalui terjaminnya rasa aman, keteraturan sosial, serta kepatuhan terhadap ketentuan hukum. Kondisi tersebut mendorong terbentuknya peran serta masyarakat dalam upaya pencegahan dan penanggulangan berbagai bentuk pelanggaran hukum maupun gangguan lain yang berpotensi mengganggu ketenteraman lingkungan. (Nina Elisabet Lelet et al., 2022).

2.2. *Internet of Things (IoT)*

Internet of Things (IoT) merupakan konsep komputasi yang memungkinkan berbagai objek dalam kehidupan sehari-hari terhubung ke jaringan internet serta berkomunikasi dan bertukar data dengan perangkat lainnya. Dalam konteks ini, IoT mencakup perangkat yang dilengkapi sensor internal untuk mengumpulkan data serta mentransmisikannya melalui jaringan secara otomatis tanpa memerlukan campur tangan manusia secara langsung. (Anggy Giri Prawiyogi & Aang Solahudin Anwar, 2023). Saat membuat aplikasi *Internet of Things (IoT)*, langkah pertama dalam perancangan pilihan komponen seperti penginderaan, protokol komunikasi, penyimpanan data, dan daya komputasi harus sesuai dengan aplikasi yang diinginkan. Selain itu, pengaruh dari keterlibatan *Internet of Things (IoT)* yaitu memberikan kemudahan pekerjaan yang dilakukan individu atau kelompok karena dinilai sangat efektif (Nofrialdi et al., 2023).

2.3 *Passive Infrared Receiver (PIR)*

Sensor PIR (Passive Infrared Receiver) merupakan perangkat sensorik yang berfungsi untuk mendeteksi keberadaan radiasi inframerah di lingkungan sekitarnya. Sensor ini bersifat pasif, sehingga tidak menghasilkan atau memancarkan radiasi inframerah, melainkan hanya menerima radiasi yang berasal dari objek di luar sensor (Juliansyah & Nadiani, 2021).

2.4 *Buzzerr*

Buzzer merupakan alat elektronik yang berfungsi sebagai alarm dari hasil konferensi aliran listrik menjadi suara.

2.5 *ESP32 CAM*

Modul *ESP32 CAM* merupakan papan mikrokontroler yang dilengkapi *wifi* dan bluetooth, serta kamera OV2640 yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti *cctv* dan fotografi (Rio Wahyudi & Edidas, 2022). Sistem mampu membedakan objek yang

ditangkap kamera, mendeteksi gerakan, dan memberikan peringatan (Saputra & Chandra, 2022).

2.6 Kabel Jumper

Kabel *jumper* merupakan alat yang digunakan untuk menyambung komponen-komponen pada *breadboard* tanpa perlu dilakukan penyolderan (Noviansyah & Saiyar, 2019).

Jenis-jenis kabel *jumper* terbagi menjadi dua diantaranya.

1. Kabel Jumper *Male to Male*

Kabel jumper male to male merupakan jenis kabel penghubung yang digunakan untuk merangkai komponen elektronik pada breadboard tanpa memerlukan proses penyolderan.

2. Kabel Jumper *Male to Female*

Kabel jenis ini memiliki konfigurasi ujung yang berbeda dan umumnya digunakan untuk menghubungkan komponen eksternal, selain Arduino, ke breadboard dalam sebuah rangkaian elektronik (Sulistiyorini et al., 2022).

2.7 Powerbank

Powerbank merupakan perangkat penyimpanan energi listrik yang berfungsi sebagai sumber daya cadangan untuk mengisi ulang berbagai perangkat elektronik, seperti ponsel, tablet, laptop, maupun perangkat lain yang memerlukan pasokan listrik, khususnya ketika berada dalam perjalanan atau pada lokasi yang tidak memiliki akses listrik langsung (Diao et al., 2020).

2.8 Telegram Messenger

Telegram merupakan aplikasi *chatting* yang memungkinkan pengguna saling berkiriman pesan dalam bentuk teks, gambar, dan video. Keunggulan Telegram adalah pengguna dapat masuk dan menjalankan beberapa program pada aplikasi tergantung kebutuhannya (Rohmah & Rahmaddi, 2021). Aplikasi ini memiliki berbagai fitur obrolan pribadi, grup, dan saluran yang memungkinkan pengguna berkomunikasi dengan teman dan mendapatkan pembaruan dari saluran yang diikuti (Adira Kania & Endrawati Subroto, 2023).

Aplikasi Telegram dilengkapi dengan fitur bot, yaitu program yang berfungsi untuk mengirimkan pesan secara otomatis. Melalui bot tersebut, pengguna dapat berinteraksi menggunakan perintah tertentu yang telah dikonfigurasi, sehingga memungkinkan penyampaian berbagai jenis informasi, seperti notifikasi penagihan maupun informasi lain yang disesuaikan dengan kebutuhan dan permintaan pengguna. (Normadhoni et al., 2021).

2.9 Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) adalah alat pemrograman mikrokontroler yang memungkinkan pengguna menulis kode, mengkompilasi, dan *debug* program jika ada kesalahan (Aditama & Bella, 2021).

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan pendekatan penelitian dan pengembangan (Research and Development) dengan menggunakan model Rapid Application Development (RAD) sebagai metode pengembangan sistem. Metode RAD dipilih karena menekankan pada proses pengembangan sistem yang cepat, iteratif, dan fleksibel, sehingga sesuai untuk pengembangan sistem keamanan berbasis *Internet of Things (IoT)* yang membutuhkan penyesuaian langsung berdasarkan kondisi lapangan dan kebutuhan pengguna (Titania Pricillia & Zulfachmi, 2021).



Gambar 1. Tahap Metode *Rapid Application Development* (RAD)

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian mengikuti tiga fase utama dalam metode RAD, yaitu perencanaan kebutuhan, perancangan dan pengembangan sistem, serta implementasi dan pengujian sistem.

3.1. Perencanaan Kebutuhan

Tahap perencanaan kebutuhan bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan serta kebutuhan pengguna terhadap sistem yang akan dikembangkan. Pengumpulan data pada tahap ini dilakukan melalui observasi lapangan dan wawancara informal dengan petugas Direktorat Pengamanan (Ditpam) BP Batam yang bertugas di kawasan Bandara Hang Nadim.. Hasil observasi menunjukkan adanya keterbatasan jumlah personel, luasnya area pengamanan, serta keterbatasan sistem pengawasan konvensional, sehingga dibutuhkan sistem keamanan tambahan yang bersifat portable dan mampu memberikan notifikasi secara *real-time*.

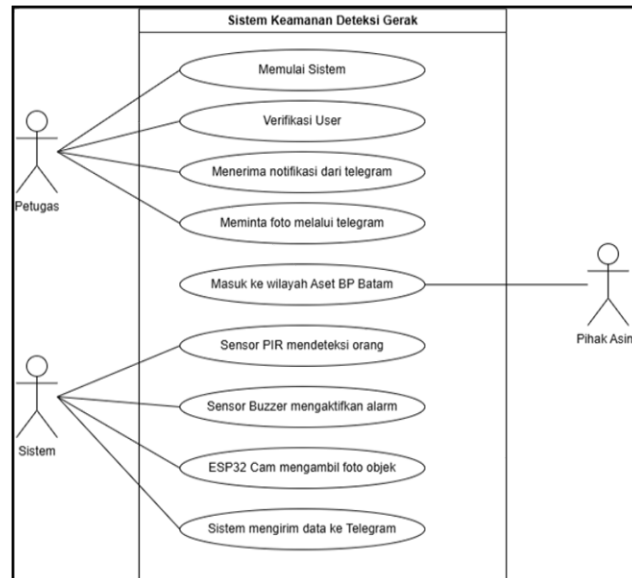
3.2. Perancangan dan Pengembangan Sistem

Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem keamanan berbasis *Internet of Things (IoT)* yang mencakup perancangan arsitektur sistem, komponen perangkat keras, serta perangkat lunak. Sistem dikembangkan dengan memanfaatkan ESP32-CAM sebagai unit pemrosesan sekaligus kamera pengawas, sensor Passive Infrared Receiver (PIR) sebagai pendeteksi pergerakan, buzzer sebagai alarm lokal, serta Telegram Bot sebagai sarana notifikasi jarak jauh..

Perancangan sistem divisualisasikan menggunakan *use case diagram*, *deployment diagram*, dan *activity diagram* untuk menggambarkan interaksi pengguna dengan sistem serta alur kerja sistem secara keseluruhan. Sistem dikembangkan agar dapat beroperasi menggunakan *powerbank* sebagai sumber daya, sehingga memungkinkan penerapan pada area yang tidak memiliki akses listrik tetap.

3.2.1. Use Case Diagram

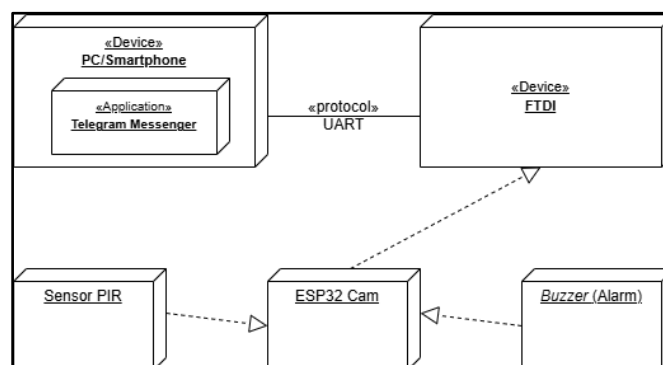
Tahapan ini menggambarkan bagaimana interaksi antara *user* (pengguna) dalam menjalankan sistem yang digunakan. Peran user yaitu sebagai pengendali sistem, mulai dari mengaktifkan sistem melalui verifikasi pengguna, minta foto ketika mendeteksi gerakan, dan menerima notifikasi apabila terdapat gerakan yang terdeteksi.



Gambar 2 Use Case Diagram

3.2.2. Deployment Diagram

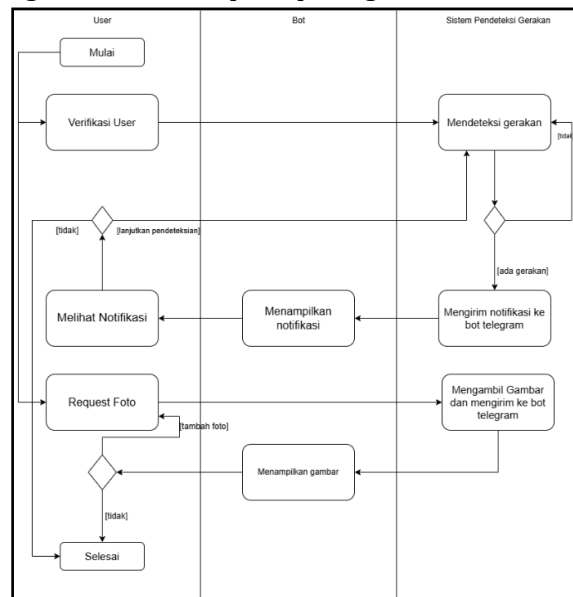
Tahapan ini menunjukkan konfigurasi fisik dari perangkat keras dan perangkat lunak pada sistem. User mengakses sistem melalui Pc atau Smartphone yang sudah terunduh aplikasi telegram messenger. Sebagai alat penghubung komponen dalam sistem, secara keseluruhan FTDI memainkan peran penting dalam memfasilitasi komunikasi dan interaksi antar-berbagai komponen dalam sistem IoT. Sensor PIR dalam sistem ini merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi suatu gerakan yang kemudian mengirimkan notifikasi kepada bot Telegram. *Buzzer* akan menghasilkan suara ketika sensor PIR mendeteksi gerakan, sehingga ini dapat mencegah sesuatu yang dikhawatirkan. *Esp32 Cam* yang berperan sebagai camera pengamat juga terintegrasi dengan sensor PIR dan *Buzzer* sehingga ketika gerakan terdeteksi, *Esp32 Cam* juga secara bersamaan mengambil foto objek yang melintas.



Gambar 3 Deployment Diagram

3.2.3. Activity Diagram

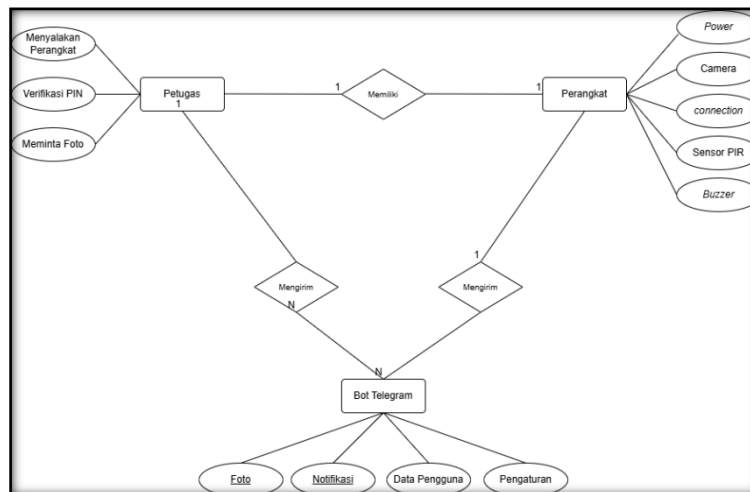
Diagram aktifitas menggambarkan alur kerja dalam suatu sistem. Dalam sistem pendeteksi gerakan digunakan *Activity Diagram* untuk menggambarkan alur user pada saat menggunakan sistem yang telah dibuat seperti pada gambar berikut.



Gambar 4 Activity Diagram

3.2.4. Entity Relationship Diagram

Entity Relationship Diagram menguraikan hubungan antar entitas dalam suatu sistem, yang memfasilitasi pemahaman lebih baik tentang struktur data dan interaksi antar komponen.



Gambar 5 Entity Relationship Diagram

3.3. Implementasi dan Pengujian Sistem

Tahap implementasi dilakukan dengan merakit seluruh komponen perangkat keras dan mengunggah program ke *ESP32-CAM* menggunakan *Arduino IDE*. Setelah sistem terimplementasi, dilakukan pengujian untuk memastikan sistem bekerja sesuai dengan tujuan penelitian.

Pengujian sistem meliputi:

- Pengujian fungsional (*blackbox testing*) untuk memastikan seluruh komponen, seperti sensor PIR, kamera, *buzzer*, koneksi WiFi, dan Telegram Bot, berfungsi dengan baik.

- Pengujian kinerja sistem, yang mencakup pengujian ketahanan sinyal, *delay* pengiriman notifikasi, dan kesalahan deteksi (*false detection*) sensor PIR.
- Pengujian usability dilakukan menggunakan metode System Usability Scale (SUS) digunakan untuk menilai tingkat kemudahan penggunaan serta tingkat penerimaan sistem oleh pengguna. Responden pada pengujian ini adalah petugas Ditpam BP Batam wilayah Bandara Hang Nadim.

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif untuk menilai efektivitas, kinerja, dan tingkat penerimaan sistem keamanan berbasis IoT yang dikembangkan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini diperoleh melalui proses implementasi serta pengujian sistem keamanan berbasis *Internet of Things (IoT)* yang diterapkan pada wilayah operasional Direktorat Pengamanan (Ditpam) BP Batam di Bandara Hang Nadim. Pengujian difokuskan pada fungsionalitas sistem, kinerja sistem, serta tingkat *usability* berdasarkan persepsi pengguna.



Gambar 6. Rangkaian Jadi Sistem IoT

4.1. Hasil Implementasi Sistem

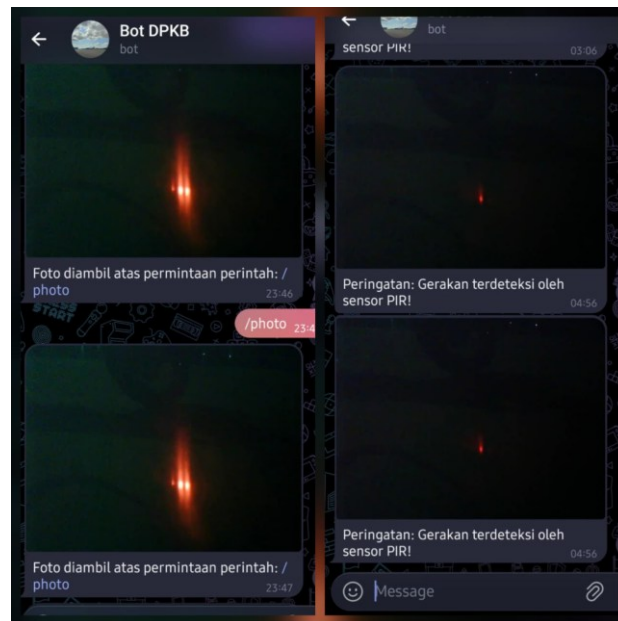
Hasil implementasi sistem keamanan berbasis Internet of Things (IoT) merupakan output dari proses pengembangan sistem yang dilaksanakan secara bertahap dan iteratif dengan mengacu pada model Rapid Application Development (RAD). Pengembangan sistem tidak hanya berfokus pada perakitan perangkat keras, tetapi juga pada integrasi fungsional antar komponen serta penyesuaian sistem terhadap kebutuhan operasional di lapangan, khususnya pada salah satu kawasan aset BP Batam di wilayah Bandara Hang Nadim.

Pada tahap implementasi, sistem dikembangkan dengan mengintegrasikan ESP32-CAM sebagai unit pemrosesan utama dan kamera pengawas, sensor Passive Infrared Receiver (PIR) sebagai pendeteksi gerakan, buzzer sebagai alarm lokal, serta Telegram Bot sebagai media notifikasi jarak jauh. Penggunaan *powerbank* sebagai sumber daya dirancang untuk mendukung karakteristik sistem yang portabel, sehingga memungkinkan pemasangan pada area pengamanan yang tidak memiliki akses listrik permanen. Aspek ini

menjadi salah satu fokus pengembangan sistem agar dapat diterapkan secara fleksibel sesuai kondisi aset yang diamankan.

Pengembangan perangkat lunak dilakukan untuk memastikan sinkronisasi antara proses pendeteksian gerakan, pengambilan gambar, dan pengiriman notifikasi. Ketika sensor PIR mendeteksi adanya pergerakan, sistem secara otomatis memicu buzzer sebagai peringatan lokal, mengaktifkan kamera ESP32-CAM untuk mengambil gambar, dan mengirimkan informasi peringatan beserta citra hasil tangkapan ke Telegram Bot. Alur kerja ini menunjukkan bahwa pengembangan sistem berhasil mengintegrasikan proses deteksi, respons, dan notifikasi secara otomatis tanpa memerlukan intervensi langsung dari pengguna.

Selain itu, hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu beroperasi secara stabil pada kondisi lingkungan operasional bandara yang memiliki aktivitas tinggi. Pengembangan sistem dilakukan dengan mempertimbangkan keterbatasan pengawasan manual, sehingga sistem dirancang sebagai alat bantu pengamanan yang dapat meningkatkan responsivitas petugas terhadap potensi ancaman di area aset. Dengan demikian, implementasi sistem tidak hanya menunjukkan keberhasilan teknis, tetapi juga mencerminkan pencapaian tujuan pengembangan, yaitu menghasilkan sistem keamanan berbasis *IoT* yang aplikatif, portabel, dan sesuai dengan kebutuhan operasional Ditpam BP Batam.



Gambar 7 Notifikasi Deteksi Gerak

4.2. Hasil Pengujian Fungsional

Pengujian fungsional dilakukan menggunakan metode blackbox testing untuk memastikan seluruh fungsi sistem berjalan sesuai dengan spesifikasi yang telah dirancang. Pengujian ini dilaksanakan secara langsung pada salah satu kawasan aset BP Batam di wilayah Bandara Hang Nadim sebagai lokasi uji coba sistem. Fokus pengujian mencakup fungsi utama sistem, yaitu pendeteksian gerakan, pengambilan gambar, pemberian alarm, serta pengiriman notifikasi melalui Telegram Bot. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor Passive Infrared Receiver (PIR) mampu mendeteksi pergerakan dengan baik, ESP32-

CAM berhasil mengambil gambar secara otomatis saat deteksi terjadi, dan buzzer berfungsi optimal sebagai alarm lokal yang memberikan peringatan suara di sekitar area pemasangan perangkat. Selain itu, Telegram Bot terbukti mampu mengirimkan notifikasi kepada pengguna secara real-time, baik dalam bentuk pesan teks maupun gambar hasil tangkapan kamera.

4. 3. Hasil Pengujian Kinerja Sistem

a. Ketahanan Jangkauan Sinyal

Pengujian ketahanan jangkauan sinyal dilakukan untuk menganalisis kemampuan sistem dalam mempertahankan konektivitas jaringan antara ESP32-CAM sebagai perangkat IoT dan access point WiFi yang digunakan sebagai media komunikasi data. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan notifikasi secara stabil pada jarak 5–15 meter dengan tingkat keberhasilan pengiriman sebesar 100%, sedangkan pada jarak 20 meter sistem gagal mengirimkan notifikasi.

Berdasarkan analisis hasil pengujian, keterbatasan jangkauan sinyal lebih dominan dipengaruhi oleh kapabilitas access point WiFi dibandingkan oleh kemampuan receiver pada ESP32-CAM. ESP32-CAM secara spesifikasi telah mendukung komunikasi WiFi standar 802.11 b/g/n, namun performanya sangat bergantung pada kualitas sinyal yang dipancarkan oleh access point. Pada jarak di atas 15 meter, penurunan kekuatan sinyal (signal attenuation) terjadi akibat keterbatasan daya pancar access point serta adanya hambatan fisik di lingkungan operasional bandara, seperti dinding bangunan, struktur logam, dan aktivitas peralatan elektronik lain yang berpotensi menimbulkan interferensi sinyal.

Selain faktor access point, posisi dan orientasi antena ESP32-CAM juga berpengaruh terhadap kualitas penerimaan sinyal. Modul ESP32-CAM menggunakan antena internal yang memiliki daya tangkap terbatas, sehingga pada jarak tertentu kemampuan penerimaan sinyal menjadi kurang optimal. Kombinasi antara keterbatasan daya pancar access point dan karakteristik antena receiver menyebabkan koneksi jaringan menjadi tidak stabil hingga akhirnya terputus pada jarak pengujian terjauh.

Tabel 1. Uji Ketahanan Jangkauan Sinyal

No	Jarak ESP32-Modem	Kondisi Sinyal	Jumlah Pengujian	Notifikasi Terkirim	Gagal Terkirim	Persentase Keberhasilan (%)	Keterangan
1	5 meter	Kuat	10 kali	Ya	-	100%	Berhasil
2	10 meter	Sedang	10 kali	Ya	-	100%	Berhasil
3	15 meter	Lemah	10 kali	Ya	-	100%	Berhasil
4	20 Meter	Diluar Jangkauan	10 kali	Tidak	Ya	0%	Gagal

b. Delay Pengiriman Notifikasi

Pengujian delay pengiriman notifikasi bertujuan untuk menganalisis waktu respons sistem sejak terdeteksinya gerakan hingga notifikasi diterima oleh pengguna melalui Telegram. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata delay sebesar 5,05 detik untuk notifikasi deteksi gerakan dan 7,74 detik untuk notifikasi pengambilan gambar. Perbedaan nilai delay ini disebabkan oleh adanya proses tambahan pada pengiriman gambar, seperti pengambilan citra, pemrosesan data, dan pengunggahan ke server Telegram.

Selain proses internal sistem, kondisi jaringan internet di lokasi pengujian turut memengaruhi besarnya delay. Lingkungan operasional bandara dengan tingkat kepadatan jaringan yang tinggi berpotensi menimbulkan latensi, sehingga memperlambat pengiriman data. Keterbatasan kemampuan pemrosesan ESP32-CAM, terutama saat menangani citra dan komunikasi jaringan secara bersamaan, juga berkontribusi terhadap peningkatan waktu respons.

Tabel 2 Pengujian *Delay* Pengiriman Notifikasi

Percobaan Ke-	Notifikasi Permintaan Foto	Kategori Delay Permintaan Foto	Notifikasi Deteksi Gerakan	Kategori Delay Deteksi Gerakan
1	08,93	Baik	04,36	Sangat Baik
2	08,03	Baik	03,99	Sangat Baik
3	08,04	Baik	04,49	Sangat Baik
4	09,08	Baik	04,24	Sangat Baik
5	10,34	Kurang Baik	08,54	Baik
6	12,93	Kurang Baik	04,61	Sangat Baik
7	11,03	Kurang Baik	04,34	Sangat Baik
8	08,44	Baik	04,69	Sangat Baik
9	08,03	Baik	07,34	Baik
10	09,54	Baik	03,99	Sangat Baik
Rata-rata	07,74	Baik	05,05	Baik

c. Kesalahan Deteksi (*False Detection*)

Pengujian kesalahan deteksi dilakukan untuk menganalisis tingkat akurasi sensor Passive Infrared Receiver (PIR) dalam membedakan pergerakan manusia dan objek non-manusia. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem masih mengalami false detection sebesar 30% pada skenario pergerakan non-manusia. Temuan ini mengindikasikan bahwa sensor PIR cukup sensitif terhadap perubahan radiasi inframerah di lingkungan sekitar.

Berdasarkan analisis kondisi lapangan, false detection terutama dipicu oleh faktor lingkungan, seperti pergerakan hewan, perubahan suhu akibat paparan panas, serta objek yang bergerak karena hembusan angin, misalnya pintu atau tirai. Sensor PIR bekerja berdasarkan perbedaan radiasi inframerah, sehingga perubahan suhu yang signifikan atau pergerakan objek dengan karakteristik termal tertentu dapat teridentifikasi sebagai pergerakan manusia. Selain itu, area pengujian di lingkungan bandara memiliki dinamika aktivitas yang tinggi, yang turut meningkatkan potensi kesalahan deteksi.

Tabel 3 Pengujian False Detection

No	Skenario Pengujian	Jumlah Percobaan	Deteksi Benar	Deteksi Palsu	Persentase False Detection (%)	Keterangan
1	Area kosong (tidak ada objek)	10 kali	10 kali	Tidak ada	100%	Tidak mendeteksi objek
2	Gerakan bukan manusia	10 kali	7 kali	3 kali	70%	Mendeteksi Hewan, gerakan Pintu, dan gerakan kendaraan
3	Gerakan manusia	10 kali	10 kali	Tidak ada	100%	Mendeteksi Gerakan Manusia

4. 4. Hasil Pengujian Usability

Pengujian usability dilakukan menggunakan metode System Usability Scale (SUS) untuk mengukur tingkat kemudahan penggunaan serta penerimaan sistem oleh petugas Ditpam BP Batam di wilayah Bandara Hang Nadim. Hasil evaluasi menunjukkan nilai rata-rata SUS sebesar 80,27 yang berada pada kategori excellent, yang mengindikasikan bahwa sistem mudah dipahami dan dapat dioperasikan dengan baik oleh pengguna.

Namun, hasil pengujian menunjukkan ada dua responden yang memperoleh skor SUS yang rendah, yaitu 60 dan 45, dibandingkan dengan responden lainnya. Berdasarkan analisis terhadap jawaban kuesioner, ditemukan inkonsistensi pengisian khususnya pernyataan positif dan negatif yang seharusnya bersifat berlawanan. Beberapa jawaban responden tersebut menunjukkan skor yang seragam atau kontradiktif, yang mengindikasikan bahwa responden kurang cermat dalam membaca dan memahami pernyataan kuesioner SUS. Oleh karena itu skor SUS pada dua responden tersebut lebih menunjukkan kesalahan pengisian kuesioner akibat tidak telitnya responden, bukan ketidakpuasan yang nyata terhadap sistem yang diuji.

Tabel 4 Jawaban Responden Pengujian SUS

Resp.	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Jumlah Nilai	Skor SUS
1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	40	100
2	4	2	5	3	4	2	5	1	5	2	33	82,5
3	5	1	5	5	5	5	5	3	3	5	24	60
4	5	2	5	5	4	1	5	2	5	5	29	72,5
5	5	2	4	3	4	2	4	1	5	3	31	77,5
6	5	2	5	3	4	2	4	2	4	3	30	75
7	4	1	5	2	4	1	4	2	4	3	32	80
8	5	2	4	2	4	2	4	2	4	4	29	72,5
9	4	1	5	3	4	2	5	2	4	3	31	77,5
10	5	1	5	2	5	1	5	1	5	2	38	95
11	4	2	5	2	5	1	5	2	5	5	32	80
12	5	1	5	2	5	1	5	1	5	2	38	95
13	5	1	5	2	5	2	5	1	5	3	36	90
14	5	1	5	2	5	1	5	2	5	4	35	87,5
15	4	2	4	2	5	1	4	2	4	4	30	75
16	3	3	5	5	3	5	3	3	3	3	18	45
17	4	2	5	2	4	1	5	1	5	2	35	87,5
18	5	1	5	2	5	1	5	1	5	3	37	92,5
Rata-rata SUS												80,27

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem keamanan berbasis Internet of Things (IoT) sebagai sarana pendukung dalam pengamanan aset Direktorat Pengamanan (Ditpam) BP Batam di kawasan Bandara Hang Nadim. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan modul ESP32-CAM, *sensor Passive Infrared Receiver* (PIR), buzzer, serta Telegram Bot sebagai media penyampaian notifikasi secara *real-time*, dengan dukungan sumber daya dari *powerbank* sehingga memiliki karakteristik portabel dan dapat diaplikasikan pada lokasi dengan keterbatasan akses listrik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu mendeteksi pergerakan, mengambil citra secara otomatis, serta mengirimkan notifikasi kepada petugas keamanan melalui aplikasi Telegram. Pengujian kinerja memperlihatkan tingkat keberhasilan pengiriman notifikasi mencapai 100% pada jarak 5–15 meter dari sumber jaringan WiFi. Selain itu, sistem menunjukkan waktu respons yang relatif cepat dengan rata-rata delay sebesar 5,05 detik untuk notifikasi deteksi gerakan dan 7,74 detik untuk pengiriman foto, yang tergolong dalam kategori baik. Berdasarkan hasil pengujian usability menggunakan metode *System Usability Scale* (SUS), sistem memperoleh nilai rata-rata sebesar 80,27 yang tergolong dalam kategori sangat baik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mudah dioperasikan, memiliki tingkat penerimaan pengguna yang tinggi, serta layak diterapkan sebagai sistem pendukung pengamanan aset pada instansi pemerintahan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang telah diperoleh, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan sebagai bahan pengembangan dan perbaikan pada penelitian selanjutnya.

- a) Penelitian selanjutnya diharapkan bisa menambahkan antarmuka monitoring lainnya untuk pengelolaan yang lebih optimal.
- b) Menambahkan *cloudware* agar data bisa tersimpan secara otomatis
- c) Melakukan pengembangan lebih lanjut dengan menambahkan fungsionalitas yang terbaru sesuai dengan kebutuhan pengguna.

DAFTAR PUSTAKA

- Adira Kania, S., & Endrawati Subroto, D. (2023). Analisis Penggunaan Telegram dan Youtube Untuk Meningkatkan Literasi Digital Mahasiswa Universitas Bina Bangsa. *Journal Of International Multidisciplinary Research*. <https://journal.banjaresepacific.com/index.php/jimr>
- Aditama, B., & Bella, C. (2021). Program Pakan Ayam Otomatis Menggunakan Internet Of Things. *Portaldata.Org*, 1(3).
- Anggy Giri Prawiyogi, & Aang Solahudin Anwar. (2023). Perkembangan Internet of Things (IoT) pada Sektor Energi : Sistematis Literatur Review. *Jurnal MENTARI: Manajemen, Pendidikan Dan Teknologi Informasi*, 1(2), 187–197. <https://doi.org/10.34306/mentari.v1i2.254>
- Arri Ape Pane Basabilik. (2021). *Rancang Bangun Sistem Pemantau Kedatangan Tamu Berbasis Internet Of Things (Iot)*. 9(2), 110–116.
- Diao, W., Saxena, S., & Pecht, M. G. (2020). Analysis of Specified Capacity in Power Banks. *IEEE Access*, 8, 21326–21332. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2969410>

- Iftikhar, A., Qureshi, K. N., Shiraz, M., & Albahli, S. (2023). Security, trust and privacy risks, responses, and solutions for high-speed smart cities networks: A systematic literature review. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 35(9), 101788. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2023.101788>
- Juliansyah, A., & Nadiani, D. (2021). Sistem Pendeteksi Gerak Menggunakan Sensor PIR dan Raspberry Pi. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Multimedia*, 2(4), 199–205.
- Nina Elisabet Lelet, Alden Laloma, & Very Londa. (2022). *Strategi Pemerintah Daerah Dalam Menjaga Keamanan Dan Ketertiban Masyarakat*. 113(8).
- Nofrialdi, R., Bimas Saputra, E., Saputra, F., & Nofriadi, R. (2023). Pengaruh Internet of Things: Analisis Efektivitas Kerja, Perilaku Individu dan Supply Chain. *Jurnal Manajemen Dan Pemasaran Digital*, 1(1). <https://doi.org/10.38035/jmpd.v1i1>
- Normadhoni, R., Putri Dewanti, S., Cahyo Namaskara, W., Yusfi Akhadi, D., & Fauzi, R. (2021). Penggunaan Bot Telegram sebagai Announcemnt System dalam Dunia Parenting. *Journal of Education and Technology*, 1. <http://jurnalilmiah.org/journal/index.php/jet>
- Noviansyah, M., & Saiyar, H. (2019). Perancangan Alat Kontrol Relay Lampu Rumah Via Mobile. *Jurnal Akrab Juara*, 4(4), 85–97.
- Rio Wahyudi, & Edidas. (2022). Perancang Dan Pembuatan Sistem Keamanan Rumah Berbasis Internet Of Things Menggunakan Esp32-Cam. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 6(1), 1135–1141.
- Rohmah, R. N., & Rahmaddi, R. (2021). Sistem Keamanan dan Pengairan Ladang Pertanian Berbasis IoT. In *Jurnal Teknik Elektro* (Vol. 21, Issue 02).
- Ryani, G., & Kurnia, C. (2021). Peran Kamera Pengawas Closed-Circuit Television (Cctv) Dalam Kontra Terorisme. *Jurnal Lembaga Ketahanan Nasional Republik Indonesia*, 9(4).
- Saputra, F. A., & Chandra, J. C. (2022). Prototipe Sistem Keamanan Ruang Server Otomatis Menggunakan ESP32CAM dan Algoritma You Only Look Once (YOLO). *Jurnal TICOM: Technology of Information and Communication*, 11(1).
- Septian, R., & Mufti Prasetyo, S. (2022). Sistem Keamanan Menggunakan Kamera dan Sensor Gerak Berbasiskan Internet Of Things (IOT). *Jurnal Ilmu Komputer Dan Science*, 1(9). <https://journal.mediapublikasi.id/index.php/oktal>
- Sulistyorini, T., Sofi, N., & Sova, E. (2022). Pemanfaatan Nodemcu Esp8266 Berbasis Android (Blynk) Sebagai Alat Alat Mematikan Dan Menghidupkan Lampu. *Jurnal Ilmiah Teknik*, 1(3).
- Titania Pricillia, & Zulfachmi. (2021). Survey Paper: Perbandingan Metode Pengembangan Perangkat Lunak (Waterfall, Prototype, RAD). *Bangkit Indonesia*, 10.