p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922

RANCANG BANGUN *PARCELGUARD CAM* BERBASIS IOT UNTUK KEAMANAN PAKET

Muhammad Zikry Al-banna Lubis[1], N.A. Fadya Rahman[2], Tora Valentina Simatupang[3], Melisa Triagustin[4]
Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan
Jalan Willeam Iskandar, Pasar V, Medan Estate, Sumatera Utara
E-mail: *zikryalbanna.5231131008@mhs.unimed.ac.id[1], fadyarahman.5233131017@mhs.unimed.ac.id[2], tora.5233131024@mhs.unimed.ac.id[3], melisa.5233131014@mhs.unimed.ac.id[4]

Abstrak
Pertumbuhan pesat *e-commerce* meningkatkan jumlah pengiriman paket ke rumah, sehingga risiko kehilangan dan pencurian paket semakin tinggi, terutama saat penerima tidak berada di tempat. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem keamanan paket berbasis Internet of Things (IoT) bernama *ParcelGuard Cam* sebagai solusi smart home yang efektif dan terjangkau. Sistem ini menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama, ESP32-CAM untuk pengambilan gambar, sensor PIR untuk mendeteksi pergerakan, serta load cell untuk memverifikasi keberadaan dan berat paket. Sistem bekerja dengan mendeteksi kedatangan kurir melalui sensor PIR, kemudian secara otomatis mengambil gambar sebagai dokumentasi. Setelah paket ditempatkan, load cell memvalidasi berat untuk memastikan paket benar-benar tersimpan sebelum mekanisme pengamanan diaktifkan. Informasi dan foto dikirimkan secara real-time kepada pemilik rumah melalui Telegram Bot API. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara terintegrasi dengan respons cepat dan tingkat akurasi deteksi yang baik. *ParcelGuard Cam* terbukti dapat meningkatkan keamanan paket dengan memberikan notifikasi langsung dan bukti visual, sehingga mengurangi risiko kehilangan serta mendukung penerapan teknologi IoT pada sistem keamanan rumah pintar.

Kata kunci: ESP32, IoT, *Package security*, *Smart home*, Telegram Bot.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan di bidang teknologi digital telah memicu pertumbuhan yang signifikan pada sektor *e-commerce* di Indonesia. Menurut laporan dari Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia (APJII), jumlah pengguna internet di tanah air mencapai 215,63 juta, yang merupakan 78,19 % dari keseluruhan populasi pada tahun 2023 (APJII, 2023), kenaikan jumlah pengguna internet ini berpengaruh langsung terhadap bertambahnya aktivitas transaksi digital di kalangan masyarakat.

Data yang diperoleh dari Bank Indonesia menunjukkan bahwa total nilai transaksi *e-commerce* nasional mengalami lonjakan yang signifikan, dari Rp42,2 triliun pada tahun 2017 menjadi Rp476,3 triliun pada tahun 2022 (Bank Indonesia, 2023). Di samping itu, Badan Pusat Statistik (BPS) melaporkan bahwa jumlah bisnis yang melakukan penjualan melalui platform *e-commerce* terus bertambah setiap tahun, yang berkontribusi pada meningkatnya volume distribusi dan pengiriman paket ke alamat pelanggan (BPS, 2022). Peningkatan jumlah pengiriman ini menimbulkan tantangan baru terkait keamanan paket di lingkungan rumah.

Salah satu masalah yang sering muncul adalah tingginya kemungkinan paket ditinggalkan di depan rumah saat tidak ada di tempat, sehingga berisiko kehilangan atau dicuri. Penelitian tentang sistem penerimaan paket berbasis *Internet of Things* (IoT) menunjukkan bahwasanya sistem keamanan standar seperti CCTV hanya berfungsi sebagai alat pemantau yang pasif, tanpa menawarkan mekanisme perlindungan fisik untuk paket (Faza et al., 2023). Hal ini menegaskan perlunya pengembangan sistem yang tidak hanya mampu melakukan pemantauan, tetapi juga dapat menjaga keamanan paket secara otomatis.

Internet of Things (IoT) telah banyak diterapkan dalam pengembangan sistem rumah pintar guna meningkatkan keamanan dan efisiensi dalam memantau rumah. IoT memungkinkan penghubungan berbagai sensor dan perangkat melalui jaringan internet untuk memungkinkan pemantauan dan pengendalian dari jarak jauh. (Siswanto et al., 2020). Namun, banyak penelitian mengenai rumah pintar belum banyak berfokus pada sistem validasi fisik paket, seperti pengukuran berat atau mekanisme penyimpanan otomatis.

Penelitian lain yang berkaitan dengan sistem penerimaan paket otomatis berbasis IoT menunjukkan bahwa umumnya sistem yang dikembangkan hanya memberikan notifikasi tanpa adanya mekanisme verifikasi ganda antara dokumentasi visual dan penimbangan paket (Faza et al., 2023). Situasi ini mengindikasikan adanya celah penelitian, yaitu kurangnya sistem yang terintegrasi untuk memadukan deteksi gerakan, dokumentasi visual, validasi berat paket, dan mekanisme penyimpanan otomatis dalam satu platform IoT.

Menyikapi masalah tersebut, penelitian ini mengusulkan hipotesis bahwa penggabungan sensor PIR sebagai detektor gerakan, sensor *load cell* untuk

p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922

mengukur berat paket, modul ESP 32 dan ESP 32-CAM sebagai pengendali pengirim data, serta sistem notifikasi yang memanfaatkan Telegram Bot API dapat meningkatkan keamanan dan tranparasi dalam proses pengiriman paket dengan cara yang efektif dan *real time.*

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan sistem keamanan paket berbasisi IoT bernama *ParcelGuard Cam*, yang dapat mendeteksi kehadiran kurir, mendokumentasikan proses pengantaran dalam bentuk gambar, memvalidasi keberadaan paket melalui pengukuran berat, serta secara otomatis menyimpan paket menggunakan servo motor. Perbedaan utama dari penelitian ini dibandingkan dengan yang sebelumnya adalah integrasi validasi ganda (visual dan berat) serta sistem penyimpanan otomatis yang terhubung langsung kepada pengguna melalui jaringan internet. Dengan adanya pengembangan sistem ini, diharapkan dapat terwujud solusi keamanan paket yang lebih lengkap dan aplikatif dalam mendukung ekosistem rumah pintar berbasis IoT.

II. TINJAUAN PUSTAKA

ParcelGuard Cam merupakan suatu alat yang akan di rancang untuk sebuah inovasi loker pintar yang menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk meningkatkan keamanan dan kenyamanan rumah yang menerima paket. Ide ini muncul seiring dengan meningkatnya paket di luar tanpa pengawasan, sehingga rentan terhadap pencurian atau kerusakan.

ParcelGuard Cam tidak hanya bertindak sebagai wadah penyimpanan, tetapi juga sebagai sistem keamanan cerdas yang mampu mendeteksi, memantau, dan mengirim pemberitahuan kepada pemilik rumah secara langsung melalui aplikasi telegram dengan memanfaatkan chat bot. Alat ini menggabungkan sistem teknologi sensor, kamera, dan platform komunikasi berbasis *cloud* untuk menyediakan solusi praktis, aman, dan sesuai dengan kebutuhan masyarakat modern saat ini.

Untuk merancang alat *ParcelGuard Cam* diperlukan penggabungan berbagai perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang saling mendukung satu sama lain, yaitu sebagai berikut.

1. Mikrokontroler

a. ESP 32

ESP32 adalah sebuah mikrokontroler yang sering dimanfaatkan dalam pengembangan sistem *Internet of Things* (IoT) karena sudah memiliki modul WiFi dan Bluetooth yang terintegrasi serta kemampuan pemrosesan data yang baik. Pemakaian ESP32 dalam sistem pemantauan dan perangkat pintar terbukti mampu memberikan komunikasi data yang handal dan efisien dalam jaringan tanpa kabel (Kurniawan dan Surahman, 2021). Dengan sifat-sifat tersebut, ESP32 sangat tepat digunakan sebagai pengendali utama dalam sistem keamanan berbasis IoT.



Gambar 1. Bentuk fisik board ESP 32

b. ESP 32-CAM

ESP32-CAM merupakan modul pengembangan yang didasarkan pada ESP32, yang dilengkapi dengan kamera OV2640 dan mampu melakukan pengiriman data melalui koneksi WiFi. Modul ini sering digunakan dalam sistem pemantauan visual yang berbasis IoT karena kemampuannya untuk mengambil dan mengirimkan gambar secara langsung melalui internet. Penelitian terdahulu mengindikasikan bahwa ESP32-CAM dapat digunakan secara efektif dalam sistem keamanan yang mengandalkan pengiriman gambar lewat platform komunikasi online (Rahman dan Setiawan, 2022).



Gambar 2. Bentuk fisik board ESP 32-CAM

2. Sensor

a. PIR (*Passive Infrared Sensor*)

Diterapkan untuk mendeteksi kehadiran Gerakan di sekeliling loker paket, lalu sekaligus mengaktifkan kamera atau modul ESP 32 CAM untuk mengambil gambar ketika terdeteksi pergerakan.



Gambar 3. Bentuk fisik sensor PIR

b. Load cell + Modul HX711

Sensor ini bertindak sebagai sensor berat untuk mengamati perubahan massa di dalam loker, dan untuk menjadi pemberitahuan

p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922

kepada pemilik rumah bahwasanya ada paket di dalam loker, dan sensor ini juga menjadi pertanda untuk menggerakkan servo.



Gambar 4. Bentuk fisik sensor *load cell* + modul HX711

3. Aktuator

a. Servo

Komponen ini berfungsi sebagai pembuka atau menggerakkan pembatas loker, supaya lebih meningkatkan keamanan serta kenyamanan paket yang telah di letakkan di dalam loker.



Gambar 5. Bentuk fisik servo

b. LCD I2C

LCD I2C yang berukurN 16x2 yang berfungsi sebagai tampilan atau menampilkan berat paket yang telah di terima, tampilan akan muncul ketika paket telah dimasukkan ke dalam loker.



Gambar 6. Bentuk fisik LCD I2C 16x2

c. LED

Menjadi indikator sekaligus pertanda bahwasanya ada paket yang telah masuk ke dalam loker.



Gambar 7. Bentuk fisik LED

4. Aplikasi atau *Software*

a. Arduino IDE

Arduino IDE adalah sebuah *software* yang bisa digunakan untuk membuat atau menulis program ESP 32, lalu mengupload kode program tersebut ke board ESP 32 melalui fitur upload di *software* Arduino IDE.



Gambar 8. Logo dari *software* Arduino IDE

b. Telegram

Sebuah aplikasi chat yang dimanfaatkan sebagai kontrol sekaligus memonitoring *ParcelGuard Cam* secara langsung, dengan memanfaatkan fitur chat bot di aplikasi telegram kita bisa memprogram chat bot tersebut sesuai kebutuhan.



Gambar 9. Logo dari *software* Telegram

5. Sumber Daya (Power Supply)

Menggunakan daya 5V/12V sebagai catu daya untuk menyalakan *ParcelGuard Cam* dan menyalakan komponen lainnya yang terhubung dengan ESP 32.



Gambar 10. Bentuk fisik dari adaptor atau catu daya

6. Konsep *Smart Home* dan Sistem Keamanan Berbasis IoT

Smart home adalah ide untuk rumah masa kini yang menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk menghubungkan berbagai perangkat elektronik sehingga dapat saling terintegrasi dan dikendalikan melalui jaringan internet. Dengan sistem *smart home*, pengguna bisa memantau dan mengontrol perangkat dari jarak jauh melalui ponsel atau *platform* berbasis web (Alam dan Suryani, 2021).

p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922

Dalam hal keamanan, penggunaan IoT memungkinkan sistem untuk secara otomatis mendeteksi kejadian, memproses data secara mandiri, serta mengirimkan notifikasi kepada pengguna dalam waktu nyata. Keuntungan utama dari sistem keamanan yang didasarkan pada IoT jika dibandingkan dengan sistem biasa adalah kemampuannya untuk memberikan respons yang cepat dan mampu menggabungkan beberapa sensor dalam satu platform terpadu (Putra dan Wibowo, 2020).

Penerapan konsep *smart home* dalam sistem *ParcelGuard Cam* sejalan dengan pendekatan ini, di mana sistem tersebut tidak hanya berfungsi sebagai alat pemantauan, tetapi juga sebagai mekanisme perlindungan aktif yang mampu melakukan validasi fisik dan penyimpanan otomatis untuk paket.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun (*Research and Development*) yang berfokus pada perancangan dan implementasi sistem keamanan paket berbasis *Internet of Things* (IoT) bernama *ParcelGuard Cam*. Metode ini digunakan untuk mengembangkan prototipe sistem yang mampu mendeteksi kehadiran kurir, mendokumentasikan proses pengantaran, memvalidasi keberadaan paketmelalui pengukuran berat, serta menyimpan paket secara otomatis.

Perancangan perangkat keras dilakukan dengan mengintegritaskan ESP32 sebagai mikrokontrolel utama dan pada ESP32-CAM sebagai modul kamera. Sistem dilekngkapi sensor PIR untuk mendeteksi pergerakan, sensor *load cell* dengan modul HX711 untuk membaca berat paket, serta motor servo sebagai mekanisme pembuka dan penutup ruang penyimpanan. LCD 12C dan LED digunakan sebagai indikator visual status sistem.

Perangkat lunak dikembangkan menggunkan Arduino IDE untuk pemrograman mikrokontrolel, sedangkan sistem komunikasi data memanfaatkan koneksi WIFI dan integrasi Bot API Telegram untuk mengirimkan notifikasi berupa teks dan gambar secara real-time kepada pengguna.

Tahapan penelitian meliputi analisis kebutuhan sistem, perancangan arsitektur perangkat keras dan perangkat lunak, integrasi komponen, serta implementasi prototipee sesuai dengan desain sistem yang telah ditentukan.

ParcelGuard Cam dibuat dengan konsep yang bisa diubah-ubah, terdiri dari bagian utama. Bagian inputnya mencakup sensor PIR dan *load cell*, yang berfungsi untuk memantau sekitar dan mendeteksi paket. Mikrokontoler menjadi "otak" sistem, memproses data dari sensor dan menjalankan perintah yang sudah di program. Untuk mengirim data, sistem menggunakan WiFi dan terhubung ke Telegram Bot API. Bagian outputnya meliputo motor servo, LCD, lampu LED, dan notifikasi telegram, yang berfungsi sebagai media informasi bagi pengguna.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Prototipe ParcelGuard Cam berhasil direalisasikan sesuai dengan rancangan sistem berbasis Internet of Things (IoT). Integrasi perangkat keras dan perangkat lunak berjalan sesuai arsitektur yang telah ditentukan, yaitu alur input–proses – komunikasi – output. Dengan beberapa komponen yang digunakan sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi Komponen Hardware dan Software *ParcelGuard Cam*

No	Kategori	Nama Komponen / Software	Spesifikasi	Fungsi Utama
1	Hardware	ESP 32	WiFI dan Bluetooth MCU	Mikrokontroler utama, mengolah data densor dan mengirim notifikasi
2	Hardware	ESP 32 Cam	Kamera OV2640	Menangkap gambar kurir saat PIR mendeteksi pergerakan
3	Hardware	Sensor PIR	HC-SR501	Mendeteksi pergerakan di depan *ParcelGuard Cam*
4	Hardware	Load Cell + HX711	5kg / 10kg	Mengukur berat paket
5	Hardware	Servo Motor	SG90 / MG996R	Menggerakkan pembatas loker untuk menyimpan paket
6	Hardware	LCD 16x2	I2C LCD	Menampilkan berat paket yang telah dideteksi
7	Hardware	LED	LED 5 / 10 mm	Sebagai indikator bahwasanya ada paket yang telah disimpan
8	Hardware	Power Supply	Adaptor 5 / 12V	Sebagai powe untuk menyalakan semua komponen
9	Software	Arduino IDE	Versi Terbaru	Membuat kode program *ParcelGuard Cam*
10	Software	Telegram	Cloud API	Mengirim notifikasi teks dan foto ke pengguna secara real time

Sistem menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama yang memproses data dari sensor PIR dan *load cell*. Modul ESP32-CAM terintegrasi untuk melakukan dokumentasi visual saat terdeteksi pergerakan di depan loker. Data dari sensor berat diproses dan ditampilkan melalui LCD serta dikirimkan kepada pengguna melalui notifikasi berbasis Bot API Telegram. Mekanisme penyimpanan otomatis direalisasikan menggunakan motor servo yang bekerja setelah sistem mendeteksi adanya paket.

Alat *ParcelGuard Cam* beroperasi dengan menyatukan berbagai jenis sensor, aktuator, serta modul kamera, dan platform komunikasi internet. Struktur jaringan IoT dirancang agar setiap kejadian yang terjadi di sekitar loker paket dapat diamati secara langsung oleh pengguna melalui *smartphone.* Secara umum tahapan kerja dari arsitektur jaringan adalah sebagai berikut:

p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922

1. Input Sensor

Sensor PIR akan membaca pergerakan yang ada di sekitarnya atau pegerakan kurir di sekitar loker, lalu memberi perintah kepada ESP 32 CAM untuk mengambil gambar atau foto. Sensor *load cell* mendeteksi adanya perubahan berat yang bertambah pada saat paket dimasukkan ke dalam loker.

2. Pemrosesan Data

ESP 32 bertindak sebagai pusat kendali (*controller*), data dari sensor diproses untuk mengetahui keadaan paket apakah paket sudah di letakkan atau belum, mengetahui dari notifikasi yang masuk, sinyal dari sensor PIR dikirim ke ESP 32-CAM untuk mengambil foto.

3. Pengendalian Aktuator

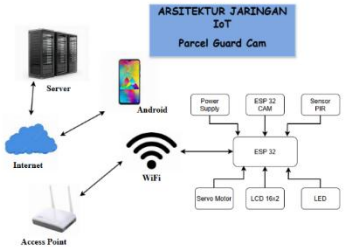
Servo motor akan berfungsi untuk membuka pembatas kotak dengan penyimpanan paket yang ada di bawah, dan pembatas akan menutup kembali begitu paket sudah di jatuhkan ke bawah, LCD akan menampilkan berat paket yang telah di masukkan ke loker LED akan menyala ketika ada paket yang diletakkan di kotak dan padam jika kosong.

4. Komunikasi Jaringan IoT

ESP 32 akan terhubung ke WiFi yang ada di rumah atau jaringan yang sudah dimasukkan di program, dan gambar dari ESP 32-CAM akan dikirim melalui internet. Telegram Bot API digunakan sebagai sarana komunikasi untuk mengirim notifikasi langsung ke *smartphone* pemilik rumah.

5. Output ke Pengguna

Pengguna atau pemilik rumah akan menerima notifikasi di aplikasi telegram yang berisi status paket (“Paket sudah tersimpan”) dan melihat berat paket yang diterima sekaligus melihat gambar atau bukti kurir yang telah meletakkan paket ke loker.



Gambar 11. Diagram arsitektur jaringan IoT *ParcelGuard Cam*

Adapun cara kerjanya secara bertahap dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Pendeteksi Kehadiran Kurir

Sebagaimana fungsinya sensor PIR (*Passive InfraRed*) akan mendeteksi pergerakan kurir atau pengirim paket di depan loker, pada saat sensor membaca pergerakan datanya akan berubah menjadi HIGH dan ketika itu langsung dikirim ke ESP32 untuk memerintahkan ESP 32-Cam untuk mengambil gambar si kurir dan gambar tersebut akan dikirim melalui API Bot Telegram ke ponsel si pemilik rumah, untuk memberitahu bahwasanya ada paket yang sampai.

2. Pemasukan Paket ke dalam Loker

Ketika paket dimasukkan, maka sensor *load cell* akan membaca adanya perubahan berat. Dan jumlah berat akan ditampilkan di layar LCD setelah itu jumlah berat juga akan dikirimkan ke API BotTelegram sekaligus membertitahukan ke pengguna kalau ada paket baru yang telah sampai.

3. Mekanisme Pengaman Paket

Setelah paket terdeteksi beratnya maka paket akan disimpan supaya terjaga keamanannya, dengan cara motor servo akan menggerakkan ke arah bawah pembatas loker untuk membuka akses penyimpanan di bawah. Paket akan otomatis jatuh ke tempat penyimpanan yang lebih aman, lalu motor servo akan menutup kembali akses atas agar orang lain tidak bisa langsung mengambil paket dari luar. LED indikator akan menyala menandakan bahwasanya ada paket yang telah tersimpan di dalam loker.

4. Pemberitahuan ke Pemilik Rumah

ParcelGuard Cam akan memberitahu kepada pemilik rumah secara langsung atau *realtime* jika ada paket yang telah sampai. Telegram berupa *chat* dan foto kurir atau pengirim paket, sekaligus memberitahu berat paket yang dikirim.

Contoh pesan yang diterima oleh pemilik rumah:

“Foto kurir”

“Paket anda telah diantar kurir ke rumah”

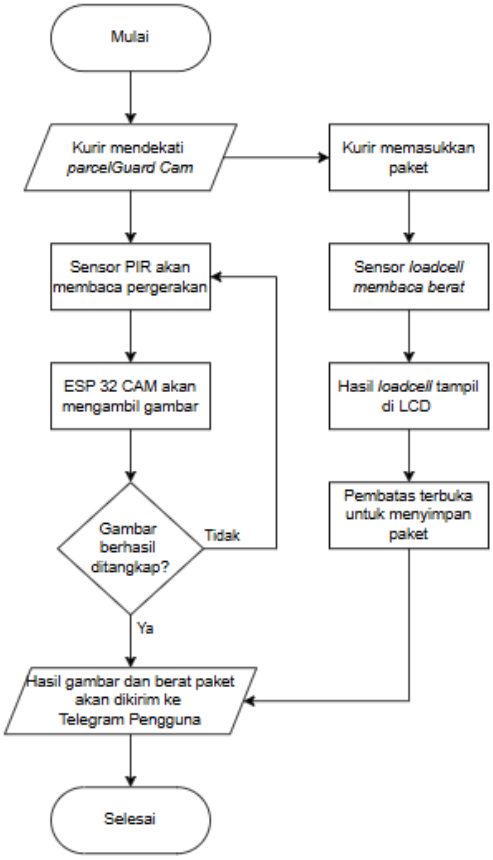
“Berat Paket: 0,5 kg” berat paket diambil dari data sensor *load cell*

Dan jika paket sudah di simpan ke tempat loker penyimpanan di bawah, maka akan masuk pesan: “Paket anda telah tersimpan aman”. “Paket anda telah tersimpan aman”.

5. Pengambilan Paket

Ketika pemilik rumah sudah sampai di rumah nya atau mau mengambil paketnya, pemilik rumah tinggal membuka loker penyimpanan paket dengan kunci yang sudah disediakan, dengan begitu paket sampai ke tangan pemilik dengan aman dan selamat.

p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922



Gambar 12. Gambar *flowchart* cara kerja *ParcelGuard Cam*

Flowchart ParcelGuard Cam secara keseluruhan ditunjukkan dalam diagram pada gambar 12. Proses ini dimulai saat sistem dinyalakan dan sensor PIR mulai memantau aktivitas di sekitar loker paket. Jika sensor PIR mendeteksi adanya gerakan, ESP32 akan mengirim perintah ke modul ESP32-CAM untuk mengabadikan gambar sebagai bukti kehadiran kurir. Gambar tersebut kemudian diteruskan kepada pengguna melalui API Bot Telegram sebagai pemberitahuan awal bahwa ada aktivitas di depan loker.

Kemudian, saat paket diletakkan di loker, sistem akan membuka pembatas tengah dan akan memasukkan paket di penyimpanan bawah loker. Tahap terakhir, sistem akan mengirim notifikasi ke pengguna bahwasanya paket telah di simpan dengan aman beserta data berat paket yang terdeteksi.



Gambar 13. Hasil Uji Coba

Gambar chat Telegram yang ditampilkan pada bagian hasil merupakan bukti nyata dari keberhasilan sistem dalam melakukan komunikasi data secara *real-time*. Pada gambar tersebut terlihat bahwa pengguna menerima:

p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922

1. Foto kurir yang diambil oleh modul ESP32-CAM saat sensor PIR mendeteksi pergerakan.
2. Pesan notifikasi teks yang menyatakan bahwa paket telah diantar.
3. Informasi berat paket yang diperoleh dari pembacaan sensor *load cell*.
4. Pesan konfirmasi bahwa paket telah tersimpan aman setelah mekanisme servo dijalankan.

Urutan pesan yang diterima sesuai dengan logika program yang telah dirancang dalam sistem. Hal ini membuktikan bahwa integrasi antara perangkat keras (sensor PIR, *load cell*, servo, ESP32, ESP32-CAM) dan perangkat lunak (program Arduino IDE serta Telegram Bot API) berjalan dengan baik tanpa terjadi kegagalan pengiriman data.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu menjalankan empat fungsi utama secara terintegrasi, yaitu deteksi kehadiran, dokumentasi visual, validasi berat paket, dan penyimpanan otomatis. Integrasi ini membedakan sistem yang dikembangkan dengan sistem monitoring konvensional yang hanya berfungsi sebagai pengawas pasif.

Dari sisi fungsional, penggunaan sensor load cell memberikan validasi tambahan terhadap keberadaan paket, sehingga tidak hanya bergantung pada bukti visual. Selain itu, mekanisme servo memberikan perlindungan fisik dengan memindahkan paket ke ruang penyimpanan tertutup. Dengan demikian, sistem tidak hanya berperan sebagai alat pemantauan, tetapi juga sebagai sistem pengamanan aktif.

Secara konseptual, hasil rancang bangun ini menunjukkan bahwa integrasi multi-sensor dengan komunikasi real-time berbasis internet dapat diterapkan sebagai solusi keamanan paket pada lingkungan *smart home*. Sistem yang dikembangkan memperluas pendekatan penelitian sebelumnya dengan menambahkan mekanisme validasi ganda dan penyimpanan otomatis dalam satu *platform* IoT terpadu.

Untuk memahami performa sistem *ParcelGuard Cam* secara lebih rinci, dilakukan analisis terhadap beberapa parameter kunci yaitu waktu *respons* sistem, ketepatan pembacaan sensor *load cell*, dan kestabilan komunikasi jaringan. Berdasarkan hasil dari lima kali percobaan, rata-rata waktu yang diperlukan dari saat sensor PIR mendeteksi adanya gerakan sampai notifikasi diterima di aplikasi Telegram berkisar antara 2 hingga 5 detik. Waktu respons ini dipengaruhi oleh kestabilan jaringan WiFi dan kecepatan pengiriman data melalui Telegram Bot API.

Selanjutnya, dilakukan pengujian untuk mengukur akurasi sensor *load cell* dengan cara membandingkan berat paket yang sebenarnya menggunakan timbangan digital dengan berat yang tercatat dalam sistem. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Tabel Uji Coba

No	Berat Paket (Kg)	Berat Terbaca (Kg)	Selisih (Kg)	Status
1	0,5	0,49	0,01	Valid
2	1,0	0,98	0,02	Valid
3	2,0	1,97	0,03	Valid

Berdasarkan informasi tersebut, rata-rata kesalahan pembacaan tercatat di bawah 3%. Ini menandakan bahwa sensor *load cell* yang diterapkan menunjukkan kemampuan akurasi yang memadai untuk aplikasi pengamanan paket di rumah. Dalam hal kestabilan sistem, selama tahap pengujian tidak terdeteksi adanya masalah dalam pengiriman notifikasi maupun dalam memicu servo motor. Sistem berhasil beroperasi secara berurutan mengikuti logika program yang telah disusun, yaitu deteksi gerakan – dokumentasi gambar – pengecekan berat – penyimpanan otomatis – pemberitahuan kepada pengguna.

Meskipun sistem *ParcelGuard Cam* berjalan dengan baik, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan. Pertama, sistem ini sangat tergantung pada kestabilan koneksi internet. Jika terjadi masalah dengan WiFi, pengiriman notifikasi dan gambar ke Telegram dapat terhambat. Kedua, sistem ini belum memiliki sumber daya cadangan, jadi jika listrik mati, alat ini tidak bisa berfungsi. Ketiga, sistem ini masih belum dilengkapi dengan fitur autentikasi tambahan seperti PIN atau RFID untuk membuka loker penyimpanan di bagian bawah. Penambahan fitur-fitur tersebut bisa menjadi langkah untuk pengembangan dalam penelitian mendatang demi meningkatkan kehandalan dan keamanan sistem secara keseluruhan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan rancangan sistem yang telah dilakukan, *ParcelGuard Cam* dapat menjadi solusi inovatif terhadap permasalahan keamanan paket di era digital. Berikut pengembangannya dalam bentuk poin yang lebih rinci:

1. Pengawasan Area Loker Secara Otomatis.
   Sistem memanfaatkan sensor PIR untuk mendeteksi pergerakan di sekitar loker penyimpanan. Ketika terdeteksi aktivitas, modul ESP32-CAM secara otomatis mengaktifkan kamera untuk mengambil gambar kondisi di sekitar area tersebut. Fitur ini memungkinkan sistem melakukan pemantauan tanpa pengawasan langsung dari pemilik rumah serta menyediakan dokumentasi visual sebagai bukti jika terjadi hal yang tidak diinginkan.
2. Notifikasi *real-time* kepada Pemilik Rumah.

p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922

Setelah proses deteksi dan pengambilan gambar dilakukan, sistem mengirimkan pemberitahuan secara langsung melalui Telegram Bot API. Notifikasi ini berisi foto serta informasi status paket (misalnya paket diterima atau loker terbuka). Dengan adanya sistem real-time ini, pemilik rumah tetap dapat memantau kondisi paket meskipun sedang berada di luar rumah.

3. Validasi Paket Menggunakan Sensor Berat (*load cell*).
   Load cell digunakan untuk mengukur berat paket yang ditempatkan di dalam loker. Data berat ini berfungsi sebagai validasi bahwa paket benar-benar telah dimasukkan ke dalam sistem penyimpanan. Jika berat terdeteksi sesuai ambang batas yang ditentukan, maka sistem akan melanjutkan proses pengamanan secara otomatis.
4. Mekanisme Penguncian Otomatis dengan Servo Motor.
   Sistem dilengkapi servo motor yang berfungsi sebagai penggerak mekanisme buka-tutup loker. Setelah paket terdeteksi dan tervalidasi, servo motor akan mengunci loker secara otomatis untuk memastikan paket tersimpan dengan aman dan tidak mudah diakses oleh pihak yang tidak berwenang.
5. Potensi Pengembangan dan Implementasi Lebih Luas
   ParcelGuard Cam tidak hanya meningkatkan keamanan dan kenyamanan pengguna dalam menerima paket, tetapi juga memiliki potensi pengembangan lebih lanjut. Sistem ini dapat diintegrasikan dengan aplikasi mobile, penyimpanan berbasis cloud, fitur autentikasi tambahan seperti RFID atau face recognition, serta diterapkan pada skala yang lebih besar seperti apartemen, perkantoran, dan fasilitas umum lainnya.

Sistem ini menawarkan solusi keamanan paket yang terintegrasi, otomatis, dan adaptif terhadap kebutuhan masyarakat modern berbasis teknologi IoT.

Saran

Berdasarkan hasil perancangan dan implementasi sistem *ParcelGuard Cam*, terdapat beberapa saran yang dapat menjadi bahan pengembangan pada penelitian selanjutnya, yaitu sebagai berikut:

1. Pengembangan Sistem Keamanan Tambahan
   Sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan fitur autentikasi digital, seperti penggunaan PIN, RFID, atau sidik jari untuk membuka loker penyimpanan. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan tingkat keamanan sehingga hanya pemilik rumah yang memiliki akses terhadap paket yang tersimpan.
2. Integrasi dengan Platform Smart Home Lainnya.
   ParcelGuard Cam dapat diintegrasikan dengan *platform* smart home seperti *Google Home* atau aplikasi IoT lainnya agar sistem menjadi bagian dari ekosistem rumah pintar yang lebih luas. Dengan demikian, kontrol dan monitoring dapat dilakukan melalui satu aplikasi terpadu.
3. Pengembangan Sistem Penyimpanan Data Berbasis *cloud*.
   Untuk meningkatkan transparansi dan dokumentasi, sistem dapat ditambahkan fitur penyimpanan data otomatis ke *cloud* server. Data berupa foto, waktu pengiriman, serta berat paket dapat direkam sebagai log histori yang dapat diakses kembali oleh pengguna jika diperlukan.
4. Peningkatan Akurasi dan Ketahanan Perangkat.
   Penelitian selanjutnya dapat melakukan pengujian lebih lanjut terhadap akurasi sensor *load cell* dalam berbagai variasi berat serta kondisi lingkungan (suhu dan kelembapan). Selain itu, desain fisik loker dapat dibuat lebih tahan cuaca agar dapat digunakan pada area luar rumah secara optimal.
5. Optimalisasi Konsumsi Daya.
   Sistem dapat dikembangkan dengan manajemen daya yang lebih efisien, misalnya dengan menambahkan mode *sleep* pada mikrokontroler atau menggunakan sumber daya alternatif seperti panel surya, sehingga alat lebih hemat energi dan ramah lingkungan.
6. Pengujian Skala Lebih Luas.
   Untuk memperoleh hasil yang lebih komprehensif, disarankan dilakukan uji coba pada beberapa lokasi rumah dengan kondisi jaringan internet yang berbeda. Hal ini bertujuan untuk mengetahui performa sistem dalam berbagai kondisi nyata.

DAFTAR PUSTAKA

APJII. (2023). *Laporan survei penetrasi internet Indonesia 2023*. Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia. https://apjii.or.id

Alam, M., & Suryani, D. (2021). Implementasi smart home berbasis Internet of Things untuk sistem keamanan rumah. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 10(1), 45–52.

Bank Indonesia. (2023). *Perkembangan transaksi e-commerce Indonesia*. https://www.bi.go.id

Badan Pusat Statistik. (2022). *Statistik e-commerce 2022*. https://www.bps.go.id

Faza, F. D., Mardiyanti, D., Budihartono, E., & Winarso, A. (2023). *Smart Box Penerima Paket Berbasis Website Menggunakan Esp32-Cam Dan Notifikasi Telegram*. *1*(2), 103–115. https://doi.org/10.52330/jmeis.v1i2.176

Kurniawan, A., & Surahman, S. (2021).

p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922

Implementasi Internet of Things menggunakan ESP32 untuk sistem monitoring suhu dan kelembaban berbasis web. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 9(2), 87–93.

Putra, R., & Wibowo, A. (2020). Perancangan sistem keamanan rumah berbasis IoT dengan notifikasi real-time. *Jurnal Informatika dan Sistem Informasi*, 6(2), 112–120.

Rahman, M., & Setiawan, D. (2022). Implementasi sistem monitoring keamanan berbasis ESP32-CAM dengan notifikasi Telegram. *Jurnal Informatika dan Teknologi Informasi*, 4(1), 15–22.

Siswanto, S., Nurhadiyan, T., & Junaedi, M. (2020). Prototype Smart Home Dengan Konsep IOT (Internet Of Thing) Berbasis NodeMCU dan Telegram. *Jurnal Sistem Informasi Dan Informatika (Simika)*, *3*, 85–93. https://doi.org/10.47080/simika.v3i1.850.