

PENGEMBANGAN SISTEM DETEKSI PENCURIAN RUMAH BERBASIS IOT DENGAN APLIKASI SENSOR DAN KOMPONEN PLASTIK KONDUKTIF BERKELANJUTAN

Akhmad Nur Wahid¹, Latifah Listyalina^{2*}, Ikhwan Mustiadi³

¹³ Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Respati Yogyakarta, Jln. Laksda Adisucipto KM 6,3 Depok Sleman 55282, Indonesia

² Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik, Politeknik ATK Yogyakarta, Jl. Prof. DR. Wirjono Projodikoro, Glugo, Panggungharjo, Bantul 55188, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL	A B S T R A K
Received: February 00, 00 Revised: March 00, 00 Available online: April 00, 00	Permasalahan keamanan rumah masih menjadi isu krusial, sementara sebagian besar sistem keamanan berbasis Internet of Things (IoT) yang telah dikembangkan umumnya berfokus pada integrasi sensor konvensional seperti PIR atau kamera, dan belum banyak yang mengkaji pemanfaatan material plastik konduktif berkelanjutan sebagai elemen sensor. Selain itu, beberapa penelitian sebelumnya masih terbatas pada deskripsi sistem tanpa menyajikan indikator kinerja yang terukur secara kuantitatif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi sistem deteksi pencurian rumah berbasis IoT dengan memanfaatkan sensor getar berbahan plastik konduktif berkelanjutan. Metode penelitian meliputi perancangan perangkat keras menggunakan sensor getar SW-420, mikrokontroler ESP32-CAM, serta aktuator berupa solenoid door lock dan buzzer, yang diintegrasikan dengan aplikasi Telegram melalui jaringan Wi-Fi. Pengujian sistem dilakukan melalui pengukuran tegangan, respons sensor terhadap variasi getaran, serta uji komunikasi data dan kendali sistem secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa regulator UBEC mampu menghasilkan tegangan stabil sebesar 5,35 V dari input 12,36 V. Sensor getar menunjukkan respons yang konsisten dengan tegangan keluaran rata-rata sebesar 5,19 V pada kondisi getaran kontinu dan sekitar 0,17 V pada kondisi tanpa getaran, dengan kemampuan mendeteksi perbedaan intensitas getaran hingga ambang logika tertentu. Sistem komunikasi IoT melalui Telegram berhasil mengirim notifikasi dan gambar secara real-time dengan waktu respons kurang dari 2 detik, serta mampu menjalankan fungsi kendali jarak jauh secara andal. Kontribusi penelitian ini terletak pada integrasi sensor berbasis plastik konduktif berkelanjutan dalam sistem keamanan IoT yang tidak hanya memiliki kinerja deteksi yang baik, tetapi juga mendukung aspek efisiensi material dan keberlanjutan lingkungan. Sistem yang dikembangkan memiliki potensi sebagai solusi keamanan rumah yang responsif, terjangkau, dan ramah lingkungan. Kata kunci—Keamanan rumah pintar, Internet of Things (IoT), sensor plastik konduktif, ESP32-CAM
CORRESPONDENCE	A B S T R A C T
E-mail: ²latifah.listyalina@atk.ac.id	Home security remains a critical issue, while most existing Internet of Things (IoT)-based security systems primarily rely on conventional sensors such as PIR and cameras, with limited exploration of sustainable conductive plastic materials as sensing elements. In addition, prior studies often focus on system design without presenting measurable performance indicators. Therefore, this study aims to develop and evaluate an IoT-based home theft detection system utilizing sustainable conductive plastic-based vibration sensors. The research method involves hardware and software design, including a vibration sensor (SW-420), ESP32-CAM microcontroller, and actuators such as a solenoid door lock and buzzer, all integrated with a Telegram application via a Wi-Fi network. System evaluation is conducted through voltage measurements, sensor response testing under various vibration conditions, and real-time communication and control performance tests. The results show that the UBEC regulator produces a stable output voltage of 5.35 V from a 12.36 V input. The vibration sensor demonstrates consistent performance, with an average output voltage of 5.19 V under continuous vibration and approximately 0.17 V under no vibration conditions, indicating its capability to distinguish vibration intensity based on logical thresholds. The IoT communication system successfully delivers notifications and images in real-time with a response time of less than 2 seconds and supports reliable remote control functionality. The main contribution of this study lies in the integration of sustainable conductive plastic-based sensors into an IoT security system, providing not only reliable detection performance but also promoting material efficiency and environmental sustainability. The developed system offers a responsive, cost-effective, and eco-friendly solution for smart home security applications Keywords— Smart home security, Internet of Things (IoT), conductive plastic sensor, ESP32-CAM

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital yang pesat telah memberikan dampak signifikan dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk pada sistem keamanan rumah. Kasus

pencurian rumah masih sering terjadi, terutama pada kondisi ketika penghuni tidak berada di tempat dalam waktu tertentu, seperti saat bekerja atau bepergian.[1]–[3]. Pada kondisi nyata di lingkungan perumahan, sistem keamanan yang umum digunakan masih bersifat konvensional, seperti kunci mekanis atau kamera pengawas (CCTV) yang hanya berfungsi sebagai alat pemantauan pasif. Sistem tersebut memiliki keterbatasan dalam memberikan deteksi dini dan respons otomatis terhadap potensi ancaman, sehingga sering kali tidak mampu mencegah tindakan pencurian secara efektif [4]–[6]. Seiring dengan perkembangan teknologi, penerapan Internet of Things (IoT) telah menjadi solusi dalam pengembangan sistem keamanan rumah yang lebih cerdas. IoT memungkinkan integrasi berbagai perangkat seperti sensor, kamera, dan aktuator yang dapat berkomunikasi melalui jaringan internet serta memberikan notifikasi secara real-time kepada pengguna. [7].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem keamanan berbasis IoT dengan memanfaatkan sensor gerak (PIR), sensor suara, maupun kamera berbasis ESP32 yang terhubung dengan aplikasi mobile atau platform seperti Telegram. Sistem tersebut terbukti mampu meningkatkan kemampuan monitoring jarak jauh dan memberikan respons dalam waktu relatif cepat [8], [9]. Namun demikian, penelitian terdahulu masih memiliki beberapa kelemahan. Pertama, sebagian besar sistem masih bergantung pada sensor konvensional yang memiliki keterbatasan dalam sensitivitas terhadap gangguan fisik tertentu, seperti getaran akibat upaya pembobolan pintu. [10]. Kedua, aspek efisiensi material dan keberlanjutan (sustainability) belum menjadi fokus utama dalam pengembangan perangkat keras, sehingga penggunaan material masih cenderung tidak ramah lingkungan. Ketiga, beberapa penelitian lebih menitikberatkan pada implementasi sistem tanpa menyajikan pengujian kinerja yang komprehensif dan terukur, sehingga sulit untuk menilai tingkat keandalan sistem secara objektif[11], [12]. Di sisi lain, perkembangan material fungsional seperti plastik konduktif memberikan peluang baru dalam pengembangan sensor yang lebih fleksibel, ringan, dan berpotensi berasal dari bahan daur ulang. Material ini mampu merespons perubahan mekanik seperti tekanan atau getaran menjadi sinyal listrik, sehingga berpotensi digunakan sebagai sensor dalam sistem keamanan rumah. Meskipun demikian, pemanfaatan plastik konduktif berkelanjutan dalam sistem keamanan berbasis IoT masih relatif terbatas dan belum banyak dikaji secara terintegrasi dengan sistem deteksi dan aktuasi otomatis [13]–[15].

Berdasarkan kondisi tersebut, terdapat kesenjangan penelitian (*research gap*) antara pengembangan sistem keamanan IoT yang umumnya masih menggunakan sensor konvensional dan belum mengintegrasikan material berkelanjutan dengan pengujian kinerja yang terukur. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem deteksi pencurian rumah berbasis IoT dengan memanfaatkan sensor berbahan plastik konduktif berkelanjutan, serta mengevaluasi kinerja sistem melalui pengujian parameter teknis seperti tegangan, respons sensor, dan performa komunikasi data secara real-time. Melalui penelitian ini diharapkan dapat dihasilkan sistem keamanan rumah yang tidak hanya responsif dan andal, tetapi juga

mendukung prinsip keberlanjutan melalui penggunaan material ramah lingkungan, sehingga memberikan kontribusi baik dari sisi teknologi maupun aspek lingkungan dalam pengembangan smart home di masa depan

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat dihasilkan sistem keamanan rumah yang inovatif, efisien, dan ramah lingkungan, sekaligus menjadi kontribusi dalam pengembangan teknologi IoT berkelanjutan yang tidak hanya berfokus pada fungsi teknis, tetapi juga memperhatikan aspek lingkungan dan keberlanjutan material [16], [17].

Penelitian mengenai sistem keamanan rumah berbasis Internet of Things (IoT) telah banyak dilakukan dengan berbagai pendekatan teknologi. Fikri [18] mengembangkan sistem keamanan berbasis ESP32 dengan sensor suara KY-037 dan sensor gerak HC-SR501 yang terintegrasi dengan aplikasi Blynk, serta mampu memberikan notifikasi real-time dengan waktu respons di bawah dua detik. Susatyono *et al.* [19] merancang sistem serupa dengan memanfaatkan sensor PIR dan kamera ESP32-CAM yang terhubung ke bot Telegram untuk mendeteksi intrusi dan mengirimkan citra secara langsung kepada pengguna. Kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa implementasi IoT efektif dalam meningkatkan kemampuan monitoring dan respons sistem keamanan rumah. Namun, pendekatan yang digunakan masih bergantung pada sensor konvensional seperti PIR dan sensor suara yang memiliki keterbatasan dalam mendeteksi gangguan fisik spesifik, seperti getaran akibat upaya pembobolan pintu, serta berpotensi menghasilkan *false alarm* pada kondisi lingkungan tertentu. Sementara itu, Zhao *et al.* [20] menunjukkan bahwa sensor fleksibel berbasis komposit polimer konduktif memiliki sensitivitas tinggi terhadap tekanan dan getaran mekanik, sehingga berpotensi digunakan dalam sistem deteksi keamanan. Dalam penelitian lain, Liu *et al.* [21] juga meninjau pemanfaatan material polimer konduktif seperti polypyrrole dan polyaniline dalam pengembangan sensor yang fleksibel dan ramah lingkungan. Meskipun demikian, penelitian-penelitian tersebut umumnya masih berfokus pada karakteristik material dan performa sensor secara terpisah, tanpa mengintegrasikannya ke dalam sistem IoT yang utuh dan aplikatif pada konteks keamanan rumah.

Berdasarkan kajian tersebut, dapat diidentifikasi bahwa terdapat kesenjangan penelitian (*research gap*), yaitu belum adanya integrasi yang komprehensif antara sistem keamanan berbasis IoT dengan sensor berbahan plastik konduktif berkelanjutan yang sekaligus diuji secara aplikatif dan terukur pada skenario nyata. Selain itu, aspek keberlanjutan material juga belum menjadi fokus utama dalam pengembangan sistem keamanan sebelumnya. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem deteksi pencurian rumah berbasis IoT dengan memanfaatkan sensor berbahan plastik konduktif berkelanjutan yang tidak hanya meningkatkan kemampuan deteksi terhadap gangguan fisik, tetapi juga mendukung prinsip teknologi ramah lingkungan. Pendekatan ini diharapkan mampu mengisi kekosongan penelitian sebelumnya sekaligus memberikan kontribusi pada pengembangan sistem keamanan rumah yang lebih inovatif, responsif, dan berkelanjutan.

II. METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan sistematis yang mencakup perancangan, implementasi, dan pengujian sistem. Secara umum, tahapan penelitian terdiri dari: (1) identifikasi kebutuhan sistem, (2) perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, (3) implementasi sistem, serta (4) pengujian dan evaluasi kinerja alat. Proses penelitian dilakukan secara bertahap mulai dari studi literatur, perancangan blok diagram, pembuatan prototipe, hingga pengujian sistem secara menyeluruh. Setiap tahapan dilakukan secara iteratif untuk memastikan kesesuaian antara rancangan dan implementasi.

Pada tahap identifikasi kebutuhan sistem, dilakukan analisis terhadap kondisi nyata sistem keamanan rumah, khususnya pada area pintu sebagai titik rawan terjadinya pembobolan. Berdasarkan analisis tersebut, ditentukan kebutuhan utama sistem, yaitu kemampuan mendeteksi getaran sebagai indikasi gangguan fisik, memberikan notifikasi secara real-time, serta menyediakan mekanisme respons berupa pengambilan gambar dan penguncian pintu otomatis. Validasi kebutuhan sistem dilakukan dengan membandingkan fungsi yang dirancang dengan skenario penggunaan nyata, yaitu kondisi saat terjadi getaran pada pintu, sistem harus mampu mengirimkan informasi berupa data sensor dan citra ke pengguna, serta menerima perintah kendali melalui aplikasi Telegram.

Target kinerja sistem dalam penelitian ini ditetapkan berdasarkan parameter respons dan keandalan sistem. Sistem dirancang untuk mampu memberikan respons notifikasi secara real-time dengan waktu tanggap kurang dari 2 detik sejak terdeteksinya getaran oleh sensor. Selain itu, sistem diharapkan mampu membedakan kondisi getaran dan non-getaran berdasarkan nilai tegangan keluaran sensor, serta menjaga kestabilan suplai daya dengan tegangan kerja pada kisaran yang aman untuk mikrokontroler dan sensor.

Tahap pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem secara kuantitatif dan kualitatif. Pengujian meliputi pengukuran tegangan pada regulator UBEC untuk memastikan kestabilan sumber daya, pengujian respons sensor getar terhadap berbagai kondisi (getaran kontinu, getaran sesaat, dan tanpa getaran), serta pengujian komunikasi data antara ESP32 dan aplikasi Telegram. Selain itu, dilakukan pengujian kendali untuk memastikan sistem mampu menerima dan mengeksekusi perintah pengguna secara akurat. Hasil pengujian dibandingkan dengan target kinerja yang telah ditentukan untuk menilai tingkat keberhasilan sistem.

Dengan pendekatan metodologi ini, sistem yang dikembangkan tidak hanya diuji dari sisi fungsionalitas, tetapi juga dari aspek performa, keandalan, dan kesesuaian dengan kebutuhan pengguna dalam konteks nyata keamanan rumah berbasis IoT.

Pada tahap perancangan sistem, pembahasan difokuskan pada kerangka kerja keseluruhan alat tanpa menitikberatkan pada hubungan antar-komponen secara individual. Sistem dirancang untuk memiliki tiga fungsi utama, yaitu: (1) mendeteksi potensi gangguan keamanan yang terjadi di area pintu rumah, (2) memberikan gambaran visual secara langsung mengenai situasi di sekitar pintu melalui kamera, dan (3) mengaktifkan sistem perlindungan tambahan berupa kunci elektronik apabila terdeteksi upaya pembobolan.

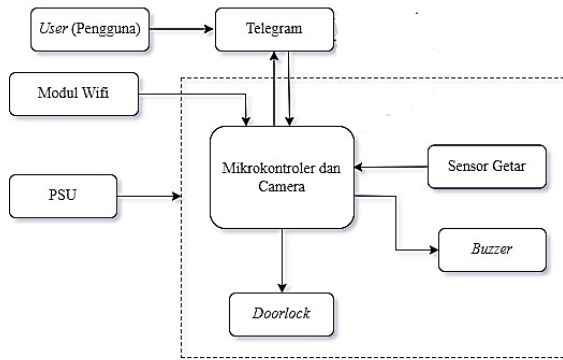
Deteksi potensi gangguan diperoleh melalui sensor getar yang akan mengirimkan sinyal ke mikrokontroler ketika terjadi getaran mencurigakan pada pintu. Selanjutnya, sistem akan mengaktifkan kamera untuk menangkap gambar situasi terkini yang kemudian dikirimkan kepada pengguna melalui jaringan internet. Proses komunikasi antara alat dan pengguna dilakukan secara nirkabel menggunakan koneksi Wi-Fi, dengan media informasi berbasis Telegram Messenger sebagai antarmuka pengguna. Dengan metode ini, pengguna dapat memantau aktivitas di sekitar pintu rumah secara real-time dan segera mengambil tindakan jika terdeteksi adanya aktivitas mencurigakan.

Tahap berikutnya adalah perancangan perangkat keras (hardware) yang mencakup pemilihan dan konfigurasi komponen elektronik utama. Sistem menggunakan sumber daya dari adaptor bertegangan keluaran 12 VDC dengan arus 1 Ampere untuk menjamin kestabilan operasi alat. Sensor getar yang digunakan adalah tipe SW-420, yang berfungsi sebagai pendeteksi awal terhadap getaran atau benturan yang timbul ketika pintu dibuka secara paksa. Modul komunikasi utama menggunakan ESP32, yang memiliki konektivitas Wi-Fi terintegrasi serta dilengkapi dengan modul kamera sehingga mampu mengirimkan data visual ke aplikasi Telegram secara langsung. Sebagai perangkat pengaman tambahan, sistem juga dilengkapi dengan solenoid lock yang berfungsi sebagai kunci elektronik otomatis untuk memperkuat pengamanan pintu saat terjadi deteksi gangguan.

Adapun perancangan perangkat lunak (software) melibatkan pembuatan program yang diunggah ke mikrokontroler ESP32 untuk mengatur logika kerja sistem, meliputi proses pembacaan data sensor, pengolahan sinyal, pengendalian kamera, serta pengiriman notifikasi dan gambar melalui Telegram API. Sistem dikembangkan dengan pendekatan *event-driven programming*, di mana setiap perubahan kondisi pada sensor akan memicu respons otomatis dari sistem sesuai dengan alur yang telah ditentukan.

Hubungan antara masing-masing bagian alat dapat dijelaskan melalui diagram blok sistem. Diagram tersebut terdiri atas tiga bagian utama, yaitu bagian masukan (*input*), bagian pengolah (*process unit*), dan bagian keluaran (*output*). Bagian masukan berfungsi untuk mendeteksi aktivitas fisik berupa getaran melalui sensor SW-420. Data dari sensor kemudian diteruskan ke bagian pengolah, yaitu mikrokontroler ESP32, untuk diolah menjadi sinyal logis yang menentukan tindakan sistem selanjutnya. Hasil pengolahan data ini digunakan untuk mengaktifkan bagian keluaran, seperti pengiriman notifikasi ke Telegram, pengambilan gambar oleh kamera, dan pengaktifan solenoid lock atau buzzer sebagai mekanisme pencegahan pencurian. Hal tersebut sesuai Gambar 1.

Dengan perancangan sistem seperti ini, alat yang dikembangkan mampu berfungsi secara mandiri, adaptif terhadap kondisi lingkungan, serta memberikan lapisan keamanan tambahan bagi rumah. Integrasi sensor getar, kamera, dan aktuator dalam satu sistem berbasis IoT memungkinkan sistem ini bekerja secara real-time dan responsif dalam memberikan perlindungan terhadap potensi tindak pencurian.



Gambar 1. Diagram Blok Perancangan

Sistem deteksi pencurian rumah berbasis Internet of Things (IoT) ini dirancang melalui integrasi antara sensor, kamera, dan aktuator yang dikendalikan secara otomatis oleh mikrokontroler. Alat terdiri atas tiga bagian utama, yaitu bagian masukan (*input*), bagian pengolah (*process unit*), dan bagian keluaran (*output*). Bagian masukan memiliki dua komponen utama, yaitu sensor getar SW-420 dan kamera terintegrasi pada modul ESP32. Sensor getar berfungsi mendeteksi adanya getaran yang timbul akibat pembukaan atau benturan pada pintu. Ketika getaran terdeteksi, sensor akan mengubah sinyal mekanik menjadi besaran listrik yang kemudian dikirimkan ke bagian pengolah untuk dianalisis. Jika besaran listrik yang dihasilkan melebihi ambang batas yang telah ditentukan, sistem akan menganggapnya sebagai indikasi adanya gangguan keamanan.

Selain itu, bagian masukan juga mencakup kamera digital yang menyatu dengan modul Wi-Fi pada ESP32. Kamera ini berfungsi menangkap gambar atau video dari area sekitar pintu ketika terjadi aktivitas mencurigakan. Data visual yang dihasilkan kemudian dikirimkan melalui jaringan internet menggunakan koneksi Wi-Fi, sehingga pengguna dapat memantau situasi rumah secara real-time melalui aplikasi Telegram. Proses pengambilan gambar dan pengiriman data dikendalikan secara otomatis oleh perangkat lunak yang tertanam di mikrokontroler, memastikan sistem dapat merespons dengan cepat tanpa intervensi manual.

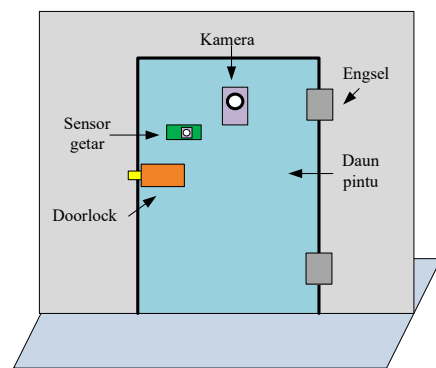
Bagian pengolah dalam sistem ini adalah mikrokontroler ESP32, yang bertugas menerima data dari sensor getar dan kamera, melakukan pengolahan sinyal, serta menentukan tindakan yang harus dilakukan. Mikrokontroler menjalankan program berbasis *event-driven logic*, di mana setiap sinyal masukan akan memicu proses tertentu sesuai kondisi yang terdeteksi. Jika getaran melebihi ambang batas, maka sistem akan mengaktifkan dua keluaran secara bersamaan, yaitu kunci pintu elektronik (solenoid lock) dan perangkat notifikasi bunyi (buzzer).

Bagian keluaran berfungsi sebagai mekanisme respons terhadap potensi ancaman. Solenoid lock bekerja sebagai kunci otomatis yang akan mengunci pintu secara elektrik ketika sistem mendeteksi gangguan, sementara buzzer memberikan peringatan bunyi sebagai tanda bahaya. Kedua perangkat ini dikendalikan langsung oleh mikrokontroler melalui perintah dalam program yang telah ditanamkan. Seluruh bagian alat memperoleh suplai daya dari unit sumber daya eksternal bertegangan 12 VDC–1 Ampere,

kecuali perangkat smartphone pengguna yang berfungsi sebagai penerima notifikasi dan pemantau jarak jauh.

Pada tahap perancangan perangkat keras (*hardware*), seluruh komponen disusun sesuai dengan blok diagram sistem untuk membentuk hubungan fungsional yang terintegrasi. Masing-masing bagian dalam blok diagram diwakili oleh rangkaian tersendiri, seperti rangkaian sensor getar, rangkaian kamera dan komunikasi, serta rangkaian kendali aktuator. Secara mekanik, alat dirancang untuk terpasang pada area pintu rumah, terdiri atas dua bagian utama yaitu bagian pintu dan bagian alat. Bagian pintu menjadi media pemasangan sensor getar dan solenoid lock, sedangkan bagian alat menampung unit pengolah (ESP32), sumber daya, dan rangkaian elektronik lainnya. Desain mekanik alat disusun agar praktis, tahan terhadap kondisi lingkungan rumah, serta mudah dalam perawatan dan instalasi.

Dengan pendekatan perancangan seperti ini, sistem deteksi pencurian rumah yang dikembangkan tidak hanya mampu memberikan notifikasi dan visualisasi secara langsung melalui jaringan IoT, tetapi juga menyediakan tindakan pencegahan aktif melalui sistem penguncian otomatis dan peringatan suara, sehingga meningkatkan efektivitas keamanan rumah secara menyeluruh. Berikut desain mekanik pada Gambar 2 seperti penjelasan di atas.

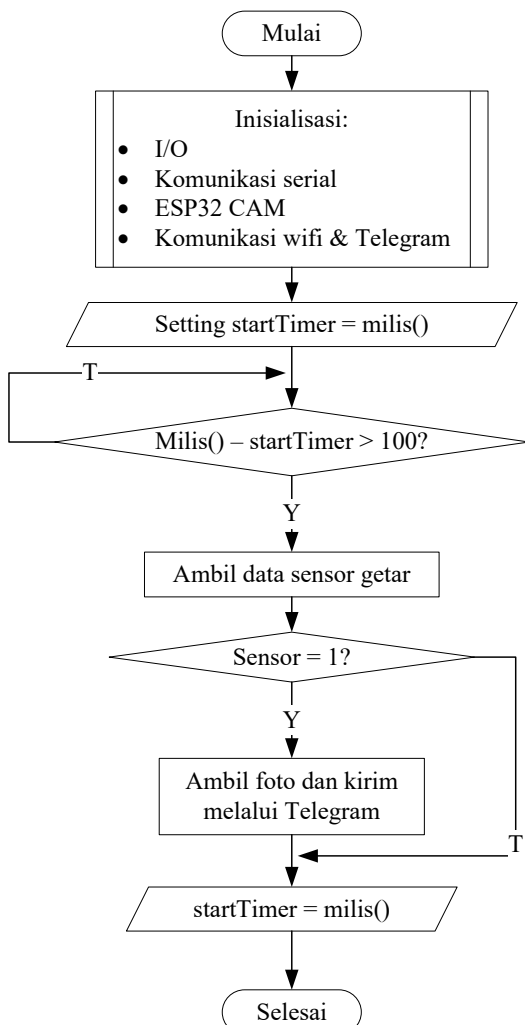


Gambar 2. Desain Mekanik

Bagian mekanik alat pada sistem keamanan rumah berbasis Internet of Things (IoT) ini dirancang dengan mempertimbangkan efisiensi fungsi, integrasi komponen, serta kemudahan instalasi pada struktur pintu rumah yang umum digunakan. Komponen utama pada sistem mekanik terdiri atas daun pintu dan engsel, sensor getar, kamera, serta door lock elektronik. Daun pintu dan engsel berfungsi sebagai representasi dari sistem pintu konvensional yang menjadi objek utama pengujian alat. Pada bagian sisi dalam daun pintu, dipasang sensor getar yang berperan untuk mendeteksi adanya getaran atau benturan saat pintu digerakkan secara paksa. Penempatan sensor di sisi dalam bertujuan agar lebih terlindung dari gangguan luar dan tetap mampu menangkap perubahan getaran dengan tindakan. Di dekat posisi sensor, juga dipasang kamera yang berfungsi untuk menangkap citra atau gambar secara otomatis tidak terdeteksi adanya aktivitas mencurigakan. Kamera ini diarahkan sedemikian rupa agar mampu memantau area sekitar pintu dengan sudut pandang yang optimal. Selanjutnya, door lock elektronik atau kunci pintu otomatis dipasang pada daun pintu, dengan bagian tuas atau pengaitnya masuk ke dalam palang pintu, sehingga tindak

sistem aktif, kunci dapat menutup secara rapat dan mengamankan pintu dari tindak pembobolan. Susunan mekanik ini dirancang agar seluruh komponen dapat bekerja secara sinergis dalam mendeteksi, memantau, dan mencegah tindakan pencurian tanpa mengubah fungsi dasar pintu rumah.

Perancangan perangkat lunak pada sistem keamanan rumah berbasis IoT ini bertujuan untuk mengatur keseluruhan fungsi alat melalui tahapan pemrograman yang terstruktur. Proses perancangan diawali dengan pembuatan diagram alir sistem yang menggambarkan hubungan antarproses secara umum. Pemrograman pada mikrokontroler ESP32 dibangun dalam tiga tingkatan utama yang saling berkelanjutan. Tingkatan pertama berfokus pada pengaturan fungsi dasar mikrokontroler, seperti input/output (I/O) dan pengendalian waktu (timer). Tingkatan kedua mencakup integrasi perangkat keras tambahan, yakni modul Wi-Fi dan kamera, untuk mendukung pengiriman data secara nirkabel dan pengambilan gambar otomatis. Sementara itu, tingkatan ketiga mengatur komunikasi berbasis internet dengan menghubungkan sistem ke aplikasi Telegram sebagai media notifikasi dan kendali jarak jauh. Secara keseluruhan, rancangan perangkat lunak ini memastikan sinkronisasi antara deteksi sensor, pengolahan data, dan respons sistem, sebagaimana digambarkan pada diagram alir proses di Gambar 3 berikut.

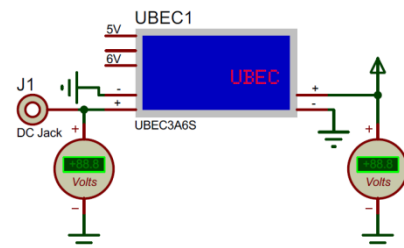


Gambar 3. Diagram Alir Kerja

Perangkat lunak pada sistem keamanan rumah berbasis IoT ini disusun berdasarkan urutan proses yang direpresentasikan dalam diagram alir dan diimplementasikan dalam algoritma kerja mikrokontroler ESP32. Proses dimulai dengan inisialisasi sistem, yang mencakup pengaturan fasilitas dasar seperti input/output (I/O) untuk sensor dan relay, konfigurasi komunikasi serial antara ESP32 dan terminal Arduino, serta aktivasi koneksi Wi-Fi dan Telegram melalui pustaka *WiFiClientSecure* dan *UniversalTelegramBot*. Setelah inisialisasi, program menggunakan fungsi pewaktuan (millis) untuk memantau kondisi sensor secara periodik tanpa menghentikan proses utama. Mikrokontroler kemudian memeriksa apakah waktu jeda yang ditentukan telah tercapai (lebih dari 100 milidetik). Jika belum, sistem tetap menunggu hingga interval waktu terpenuhi. Setelah jeda tercapai, program membaca data dari sensor getar untuk mendeteksi adanya getaran pada pintu. Apabila sensor mendeteksi getaran (logika tinggi), sistem secara otomatis mengaktifkan kamera ESP32, mengambil gambar, dan mengirimkannya ke pengguna melalui aplikasi Telegram. Proses pewaktuan kemudian diperbarui, dan siklus pemantauan berlanjut secara berulang untuk memastikan sistem dapat merespons setiap potensi gangguan keamanan secara real-time.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan dengan tujuan memperoleh data empiris yang berkaitan dengan kinerja alat yang telah direalisasikan. Data hasil pengujian kemudian dianalisis dan dikorelasikan dengan pembahasan pada bab-bab sebelumnya sebagai dasar evaluasi terhadap kesesuaian rancangan dan implementasi sistem. Proses pengujian dilakukan melalui pengamatan pada titik-titik tertentu menggunakan metode pengukuran besaran listrik untuk memastikan setiap komponen bekerja sesuai fungsi yang dirancang. Selain itu, kinerja alat juga diuji melalui kombinasi antara pemantauan perangkat lunak dan observasi visual terhadap respons sistem. Setiap bagian alat yang merupakan subsistem penyusun keseluruhan sistem diuji secara terpisah untuk menjamin integritas dan keandalan kerja alat. Salah satu tahap pengujian yang dilakukan adalah pengujian tegangan pada modul UBEC, yang bertujuan memastikan bahwa setiap komponen memperoleh suplai tegangan sesuai batas toleransi yang diizinkan serta memverifikasi kestabilan sumber daya listrik ketika sistem berada dalam kondisi berbeban, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.



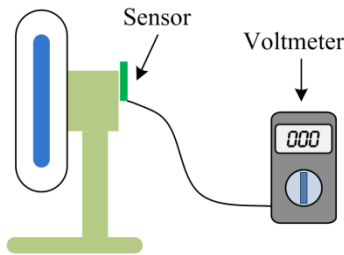
Gambar 4. Pengujian UBEC

Hasil pengujian menunjukkan bahwa regulator UBEC yang digunakan mampu menurunkan tegangan masukan sebesar 12 Volt menjadi 5,3 Volt, yang masih berada dalam rentang

toleransi aman untuk digunakan oleh sensor dan mikrokontroler ESP32. Tegangan keluaran yang sedikit lebih tinggi dari nilai nominal 5 Volt bersifat menguntungkan, karena saat rangkaian dibebani, tegangan cenderung mengalami penurunan sehingga nilai akhirnya tetap stabil pada level operasional yang sesuai. Regulator UBEC ini tidak memiliki fasilitas pengaturan tegangan keluaran, sehingga nilai 5,3 Volt merupakan hasil tetap yang dipengaruhi oleh karakteristik komponen internal dan toleransi nilai komponen dalam rangkaian.

Tabel 1. Pengujian UBEC

Berdasarkan hasil pengamatan, setelah regulator dibebani oleh modul sensor dan modul ESP32-CAM, tidak terjadi penurunan tegangan yang signifikan, menandakan bahwa regulator memiliki kemampuan suplai daya yang stabil dan andal untuk mendukung keseluruhan sistem. Selanjutnya, pengujian sensor getar dilakukan untuk memastikan kemampuan sensor dalam mendeteksi getaran secara akurat. Pengujian dilakukan dengan memberikan dua jenis getaran, yaitu getaran kontinyu dan getaran sesaat, kemudian mengamati respon sensor melalui perubahan tegangan keluaran sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Pengujian Sensor Getar

Berikut hasil pengujian tegangan pada sensor getar.

Tabel 2. Pengujian Tegangan pada Sensor Gerak

No.	Pengujian	Rerata (Volt)	Logika
1.	Getaran kontinyu Ditempel ke kipas angin ukuran sedang	5,33	1
2.	Ditempel ke mesin bor duduk ukuran sedang	5,30	1
3	Ditempel ke mesin gerinda tangan	5,33	1
4	Getaran Disentuh	0,172	0
5	seesaat Digetarkan dengan kekuaran sedang	1,75	0
6	Digetarkan dengan hentakan	2,73	1
7	Tidak digetarkan	0,172	0

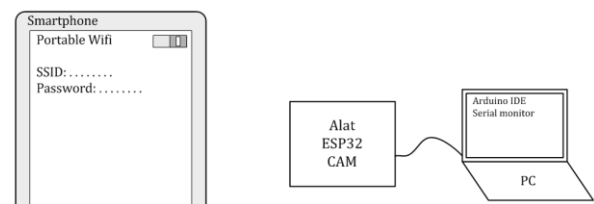
Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan keluaran sensor pada kondisi getaran sesaat sulit ditentukan secara pasti, karena nilai tegangan yang terukur cenderung berfluktuasi cukup signifikan pada setiap percobaan. Hal ini disebabkan oleh karakteristik sensor yang merespons perubahan getaran dengan sangat cepat, di mana tegangan keluaran meningkat secara tiba-tiba saat getaran terjadi dan

langsung menurun ketika getaran berhenti, sedangkan kecepatan respons multimeter tidak mampu mengikuti dinamika perubahan tersebut. Selain itu, pada pengujian getaran sesaat juga diamati bahwa semakin kuat intensitas getaran yang diberikan, semakin tinggi pula tegangan keluaran yang dihasilkan sensor. Fenomena ini terjadi karena peningkatan energi getaran mempercepat pencapaian nilai puncak tegangan, sehingga menghasilkan osilasi yang lebih stabil pada keluaran sensor. Sementara itu, pada pengujian menggunakan getaran kontinyu, tegangan keluaran sensor menunjukkan kestabilan dengan nilai rata-

No.	Titik pengujian	Rata-rata (Volt)
1.	Masukan regulator UBEC	12,36
2.	Keluaran regulator UBEC tanpa beban	5,35

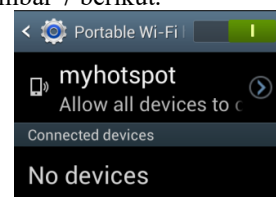
rata sebesar 5,19 Volt, sedangkan dalam kondisi tanpa getaran tegangan keluaran stabil pada sekitar 171 mV. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa sensor getaran mampu berfungsi dengan baik dalam mendeteksi perubahan intensitas getaran.

Prinsip kerja alat ini didasarkan pada proses komunikasi antara modul ESP32, smartphone, dan aplikasi Telegram, sehingga diperlukan pengujian untuk memastikan seluruh proses komunikasi antarkomponen tersebut berjalan sesuai rancangan. Salah satu tahap pengujian yang dilakukan adalah pengujian koneksi, yang bertujuan untuk memverifikasi kemampuan modul ESP32 dalam terhubung dengan jaringan Wi-Fi secara stabil dan andal. Pengujian dilakukan dengan memuat program koneksi pada ESP32, kemudian mengamati hasilnya melalui tampilan smartphone dan terminal monitor pada Arduino IDE untuk memastikan proses inisialisasi dan koneksi berlangsung tanpa kendala, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6 berikut.



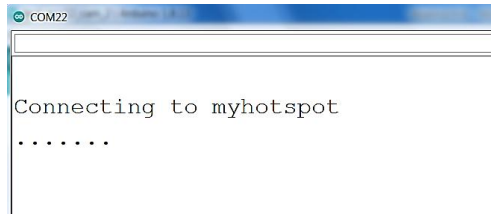
Gambar 6. Pengujian Koneksi

Jaringan wifi memanfaatkan fasilitas penambatan (*tethering*) dari smartphone. Properti SSID dan *password* di portable wifi *smartphone* terlebih dahulu ditentukan. Setelah dibuka, *smartphone* menunggu perangkat lain meminta koneksi. Tampilan awal sebelum terjadi koneksi seperti pada Gambar 7 berikut.



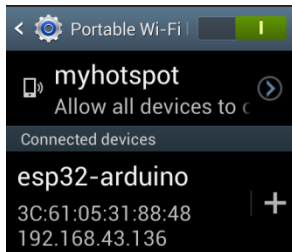
Gambar 7. Pengujian Koneksi

Selama belum terhubung alat mengirimkan karakter '.' ke terminal monitor. Tampilan proses tunggu koneksi ditunjukkan Gambar berikut.



Gambar 8. Tampilan Proses Koneksi

Setelah permintaan koneksi terverifikasi, alat memberitahukan status koneksinya. Smartphone menampilkan perangkat yang telah terkoneksi dan IP seperti pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9. Tampilan Status Koneksi

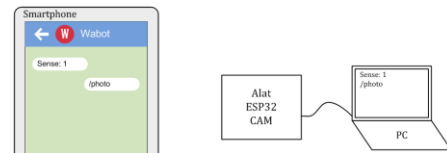
Alat juga menampilkan status koneksi dan IP yang dimiliki ESP32. Tampilan status koneksi alat ditunjukkan Gambar 10 berikut.



Gambar 10. Tampilan Status Koneksi

Dengan tampilan-tampilan proses koneksi seperti di atas, maka dikatakan proses koneksi berhasil dilakukan. Setelah terkoneksi maka proses alat dilanjutkan dengan komunikasi data antara alat dan aplikasi Telegram.

Pengujian kendali dilakukan untuk memastikan komunikasi dua arah antara modul ESP32 dan aplikasi Telegram berfungsi dengan baik sesuai alur proses yang dirancang. Komunikasi data berlangsung antara modul Arduino dan ESP32 melalui jaringan Wi-Fi, dengan pertukaran data berupa string yang berisi informasi sensor, perintah pengambilan gambar, dan aktivasi doorlock. Sebelum pengujian, dibuat akun bot Telegram sebagai perantara antara ESP32 dan akun Telegram pengendali, dengan dua properti utama yaitu CHAT_ID yang diperoleh dari akun @myidbot dan BOTtoken dari akun @botfather. Proses pengujian dilakukan dengan mengirimkan data melalui monitor serial untuk diamati penerimaannya pada aplikasi Telegram, serta sebaliknya, mengirim data dari Telegram untuk memastikan respon diterima dan diproses dengan benar oleh ESP32, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 11 berikut.

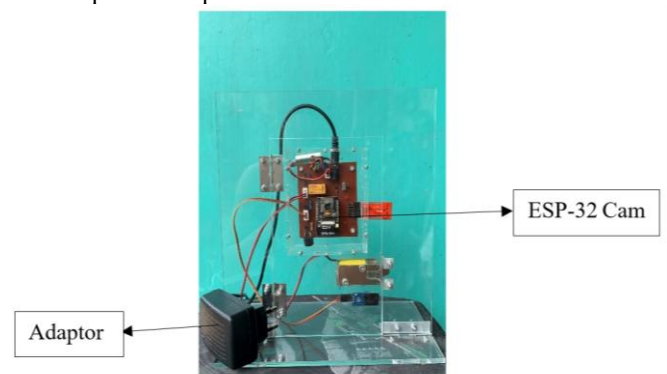


Gambar 11. Pengujian kendali

ESP32 mengirimkan pesan dalam format string. Pesan berupa informasi logika sensor yang didapat dengan melihat kondisi sensor. Informasi logika sensor ditambahkan pada template pesan, kemudian diakhiri dengan karakter ganti baris. Selanjutnya pesan dikirim dengan memanggil rutin yang ada di program UniversalTelegramBot.

Proses kendali otomatis pada sistem ini berlangsung ketika modul ESP32 mendeteksi adanya getaran, yang kemudian memicu pengiriman pesan berisi nilai logika hasil deteksi sensor, diikuti dengan pengambilan dan pengiriman citra melalui kamera. Selanjutnya, ESP32 menunggu instruksi lanjutan dari pengguna melalui aplikasi Telegram, seperti perintah untuk mengaktifkan kunci, membaca ulang nilai sensor, atau mengambil gambar tambahan. Setiap perintah yang diterima terlebih dahulu diverifikasi untuk memastikan otorisasi pengirim sebelum dieksekusi, serta diperiksa kesesuaiannya dengan daftar perintah yang telah ditentukan sistem.

Hasil pengujian komunikasi yang ditunjukkan pada Gambar 12 memperlihatkan bahwa pengiriman data sensor akibat deteksi getaran berhasil diikuti oleh perintah penutupan kunci, dengan respons yang terkonfirmasi melalui tampilan data pada serial monitor. Secara keseluruhan, hasil pengujian membuktikan bahwa proses kendali antara Telegram dan ESP32 berjalan efektif dan andal, dengan sinkronisasi yang baik antara data yang ditampilkan pada aplikasi Telegram dan keluaran serial monitor. Alat sistem kendali elektronik berbasis IoT ini direalisasikan dengan dimensi keseluruhan 16,5 cm × 18 cm × 5,4 cm, dengan total tinggi termasuk stopkontak mencapai 10 cm, sebagaimana terlihat pada tampak depan alat yang menampilkan adaptor dan mikrokontroler ESP32-CAM.



Gambar 12. Tampilan Simulasi

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, performa sistem dapat dianalisis dari beberapa aspek utama, yaitu kestabilan catu daya, sensitivitas sensor, keandalan komunikasi, serta respons sistem secara keseluruhan.

Dari sisi catu daya, penggunaan regulator UBEC menunjukkan kinerja yang stabil dalam menurunkan tegangan dari 12,36 V menjadi 5,35 V. Nilai ini masih berada dalam rentang toleransi aman untuk mikrokontroler

ESP32 dan sensor, serta tidak mengalami penurunan signifikan saat sistem dalam kondisi berbeban. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki keandalan yang baik dalam menjaga kestabilan suplai daya, yang merupakan faktor penting dalam menjamin kontinuitas operasi perangkat IoT.

Pada aspek sensitivitas sensor, hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor getar mampu membedakan kondisi getaran dan non-getaran secara jelas. Tegangan keluaran rata-rata pada kondisi getaran kontinu mencapai sekitar 5,19 V, sedangkan pada kondisi tanpa getaran berada pada kisaran 0,17 V. Perbedaan yang signifikan ini menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat sensitivitas yang baik dalam mendeteksi gangguan fisik. Selain itu, pada pengujian getaran sesaat, terlihat bahwa semakin besar intensitas getaran, semakin tinggi pula tegangan keluaran yang dihasilkan. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem memiliki kemampuan dalam mengidentifikasi variasi intensitas gangguan, meskipun terdapat fluktuasi tegangan akibat keterbatasan alat ukur dalam menangkap perubahan sinyal yang cepat.

Dari sisi komunikasi data, sistem menunjukkan performa yang andal dalam mengirimkan informasi secara real-time melalui jaringan Wi-Fi dan aplikasi Telegram. Hasil pengujian menunjukkan bahwa proses pengiriman notifikasi dan gambar dapat dilakukan dengan waktu respons kurang dari 2 detik sejak sensor mendeteksi getaran. Selain itu, sinkronisasi antara data yang ditampilkan pada serial monitor dan aplikasi Telegram menunjukkan bahwa tidak terjadi kehilangan data selama proses transmisi. Hal ini menandakan bahwa sistem komunikasi memiliki reliabilitas yang baik dalam mendukung fungsi monitoring dan kendali jarak jauh.

Pada aspek integrasi sistem, seluruh komponen—mulai dari sensor, mikrokontroler, kamera, hingga aktuator—mampu bekerja secara terkoordinasi sesuai dengan logika sistem yang dirancang. Sistem tidak hanya mampu mendeteksi gangguan, tetapi juga memberikan respons lanjutan berupa pengambilan gambar dan aktivasi aktuator berdasarkan perintah pengguna. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat responsivitas dan fungsionalitas yang tinggi dalam menghadapi skenario gangguan keamanan.

Meskipun demikian, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Fluktuasi tegangan pada sensor saat getaran sesaat menunjukkan bahwa sistem masih sensitif terhadap noise, sehingga diperlukan pengolahan sinyal atau kalibrasi lebih lanjut untuk meningkatkan akurasi deteksi. Selain itu, performa sistem sangat bergantung pada kestabilan jaringan Wi-Fi, sehingga pada kondisi jaringan yang tidak stabil, waktu respons dapat mengalami penurunan.

Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki performa yang baik dalam hal sensitivitas deteksi, kecepatan respons, dan keandalan komunikasi. Integrasi antara teknologi IoT dan sensor berbasis material konduktif juga memberikan nilai tambah dibandingkan sistem konvensional, terutama dalam aspek fleksibilitas dan potensi keberlanjutan material. Dengan demikian, sistem ini dapat dikategorikan sebagai

solusi yang efektif dan aplikatif dalam meningkatkan keamanan rumah berbasis teknologi cerdas.

Standar Operasional Prosedur (SOP) penggunaan alat ini diawali dengan memastikan seluruh komponen dalam kondisi siap digunakan. Selanjutnya, pengguna menyalakan alat dengan menekan tombol daya (power), yang akan menginisiasi proses koneksi otomatis antara alat dan jaringan Wi-Fi yang telah terdaftar. Setelah itu, adaptor catu daya AC 220V dari alat disambungkan ke sumber tegangan AC 220V sehingga sistem mulai beroperasi. Ketika sensor mendeteksi adanya getaran pada pintu, kamera akan secara otomatis mengambil gambar dan mengirimkan notifikasi ke aplikasi Telegram di smartphone pengguna. Pengguna kemudian dapat membuka notifikasi tersebut untuk melihat pesan berisi data sensor dan hasil foto. Untuk memberikan instruksi penguncian, pengguna mengetik perintah “/close” pada aplikasi Telegram, yang akan mengaktifkan solenoid doorlock dan menimbulkan bunyi alarm sebagai tanda pintu terkunci. Sebaliknya, untuk membuka kunci, pengguna mengetik perintah “/open” pada aplikasi Telegram agar solenoid doorlock kembali terbuka. Setelah penggunaan selesai, alat dapat dimatikan dengan memutus sambungan adaptor dari sumber tegangan Listrik.

IV. PENUTUP

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan merealisasikan sistem deteksi pencurian rumah berbasis Internet of Things (IoT) dengan memanfaatkan sensor getar serta integrasi aktuator dan komunikasi berbasis aplikasi Telegram. Berdasarkan hasil pengujian, sistem menunjukkan kinerja yang baik dari beberapa aspek utama. Regulator UBEC mampu menyediakan suplai daya yang stabil dengan keluaran sebesar 5,35 V dari masukan 12,36 V tanpa penurunan signifikan saat berbeban, sehingga mendukung keandalan operasional sistem. Sensor getar juga menunjukkan sensitivitas yang memadai dalam membedakan kondisi getaran dan non-getaran, dengan tegangan rata-rata sekitar 5,19 V pada kondisi getaran kontinu dan 0,17 V pada kondisi tanpa getaran.

Dari sisi performa sistem, integrasi antara sensor, mikrokontroler ESP32-CAM, dan aplikasi Telegram mampu menghasilkan respons notifikasi dan pengiriman data secara real-time dengan waktu tanggap kurang dari 2 detik. Selain itu, sistem kendali jarak jauh melalui Telegram berjalan dengan baik dan menunjukkan sinkronisasi data yang konsisten antara perangkat dan pengguna. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat responsivitas dan keandalan komunikasi yang tinggi dalam mendukung fungsi keamanan rumah.

Kontribusi utama penelitian ini terletak pada integrasi sensor berbasis material konduktif dalam sistem keamanan IoT yang tidak hanya berfungsi secara efektif dalam mendeteksi gangguan fisik, tetapi juga memiliki potensi untuk dikembangkan menggunakan material berkelanjutan. Pendekatan ini memberikan nilai tambah dibandingkan sistem konvensional yang umumnya masih menggunakan sensor standar tanpa mempertimbangkan aspek keberlanjutan.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan, terutama pada fluktuasi sinyal sensor saat mendeteksi getaran sesaat serta ketergantungan sistem

terhadap kestabilan jaringan Wi-Fi. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan metode pengolahan sinyal yang lebih robust, meningkatkan akurasi deteksi, serta menguji sistem pada skenario lingkungan yang lebih kompleks.

Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan dapat dikategorikan sebagai solusi yang efektif, responsif, dan berpotensi ramah lingkungan dalam meningkatkan keamanan rumah berbasis teknologi IoT.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih bersifat opsional, dapat dituliskan ataupun tidak. Ucapan ditujukan kepada institusi resmi yang menjadi sponsor penelitian, dilengkapi dengan nomor kontrak penelitian atau hibah.

REFERENSI

- [1] R. E. Rian, E. L. Utari, L. Listyalina, T. Elektro, F. Sains, and U. R. Yogyakarta, "Implementasi Deteksi Tepi Iris Mata pada Citra Mata Normal dan Kolesterol," vol. 9, no. 1, pp. 474–481, 2024.
- [2] Y. Latifah Listyalina, La Zulfiani Baadi, "Identifikasi suara jantung berbasis komputer," vol. 12, no. 3, pp. 1696–1704, 2024.
- [3] I. Buyung, A. Q. Munir, N. W. S., and L. Listyalina, "Identifying Types of Waste as Efforts in Plastic Waste Management Based on Deep Learning," *Telemat. J. Inform. dan Teknol. Inf.*, vol. 20, no. 3, pp. 362–372, 2023.
- [4] R. ZAMZAMI, "Dampak Teknologi Digital Terhadap Perilaku Sosial Generasi Muda," *TECHSI - J. Tek. Inform.*, vol. 15, no. 2, pp. 87–95, 2024, doi: 10.29103/techsi.v15i2.19443.
- [5] Sakti dkk, "Bagaimana teknologi membentuk ulang kemajuan digital," vol. 1, pp. 13–20, 2024.
- [6] Muh David Balya Al, "Kemajuan Teknologi Dan Pola Hidup Manusia Dalam Perspektif Sosial Budaya," *TUTURAN J. Ilmu Komunikasi, Sos. dan Hum.*, vol. 1, no. 3, pp. 26–53, 2023, doi: 10.47861/tuturan.v1i3.272.
- [7] A. Mukhtar, R. Hermana, A. Burhanudin, and Y. Setyoadi, "Sensor dan Aktuator," pp. 1–82, 2023, [Online]. Available: www.freepik.com
- [8] S. E. Dewi, "Analisis Efektivitas dan Tantangan Penerapan IoT dalam Smart Home: Systematic Literature Review," vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2025.
- [9] R. Ramadhani, H. Gultom, O. Herdiyanto, I. F. Ramadhan, and S. Salsabila, "Pengamanan Data Sensor Iot Dengan Teknologi Blockchain Untuk Smart Home," *JUTECH J. Educ. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 354–364, 2024, doi: 10.31932/jutech.v5i2.4155.
- [10] S. Pahrullah, D. Feriyanto, T. H. Andika, and N. Aminudin, "Aisyah Journal of Informatics and Electrical Engineering PENERAPAN APLIKASI CHATting UNTUK KENDALI LAMPU DENGAN TEKNOLOGI INTERNET OF THINGS," *Aisyah J. Informatics Electr. Eng.*, vol. 7, no. 1, pp. 9–14, 2025, [Online]. Available: <http://jti.aisyahuniversity.ac.id/index.php/AJIEE>
- [11] R. Marlina, Zaharuddin, H. R. Ngemba, and J. Smith, "Manfaat Integrasi IoT dalam Pengembangan Perangkat Lunak di Sektor Pendidikan," *J. MENTARI Manajemen, Pendidik. dan Teknol. Inf.*, vol. 3, no. 1, pp. 90–98, 2024, doi: 10.33050/mentari.v3i1.626.
- [12] C. Y. Pratiwi, A. S. U. Christanto, and R. Palupi, "Efisiensi Penggunaan Internet of Thing (IoT) dan Dampak Sistem dalam Rumah Pintar," *J. Solo Teknol.*, vol. 1, no. 2, pp. 45–49, 2025.
- [13] B. Ryel, "Implementasi Green Building Dalam Rangka Mewujudkan Perkantoran Ramah Lingkungan Melalui Program 031 Go Green (Studi Pada Kantor Pelayanan ...," *Skripsi*, 2018, [Online]. Available: [http://repository.ub.ac.id/165634/%0Ahttp://repository.ub.ac.id/165634/1/Bidherine Eppy Putri Aen Ryel.pdf](http://repository.ub.ac.id/165634/%0Ahttp://repository.ub.ac.id/165634/1/Bidherine%20Eppy%20Putri%20Aen%20Ryel.pdf)
- [14] F. Handoko, *Green Industrial System*. 2019.
- [15] S. P. Collins *et al.*, *Efisiensi Energi pada Bangunan Gedung Hijau*. 2021.
- [16] M. Sobri Sungkar, "Sistem Keamanan Rumah Berbasis Internet of Things," *Smart Comp Jurnalnya Orang Pint. Komput.*, vol. 9, no. 2, pp. 96–98, 2020, doi: 10.30591/smartcomp.v9i2.1972.
- [17] Y. A. Saputra, M. Raihan Yusuf, and T. Sutabri, "Implementasi Teknologi Internet of Things (Iot) dalam Pengelolaan Penghematan Listrik untuk Smart Home," *J. Pendidik. Tambusai*, vol. 9, no. 1, pp. 541–547, 2025.
- [18] A. Fikri, "Simple IoT-Based Home Security System Using ESP32 and Blynk," *Data Sci. J. Comput. Appl. Informatics*, vol. 9, no. 2, 2023.
- [19] D. Susatyono, F. Febryantahanuji, and A. A. Kuncoro, "Pengembangan Sistem Keamanan Rumah Berbasis IoT dengan Deteksi Intrusi Real-Time Menggunakan Sensor PIR dan Kamera, serta Notifikasi Otomatis melalui Aplikasi Mobile," *J. Publ. Ilmu Komput. dan Multimed.*, vol. 4, no. 2, 2023.
- [20] and X. C. D. Zhao, Y. Liu, "Flexible Sensors Based on Conductive Polymer Composites," *Sensors*, vol. 24, no. 14, 2024.
- [21] and J. W. H. Liu, K. Zhang, "Conducting Polymers for the Design of Tactile Sensors," *Adv. Mater. Res.*, vol. 12, no. 3, pp. 201–212, 2023.