

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Landasan teori merupakan kumpulan konsep dan teori yang relevan dengan topik penelitian yang berfungsi sebagai dasar dalam penyusunan serta pelaksanaan penelitian. Teori-teori tersebut digunakan untuk memberikan arah, memperkuat argumentasi, dan mendukung analisis terhadap permasalahan yang diteliti. Oleh karena itu, pada bagian ini akan dijelaskan berbagai landasan teori yang menjadi acuan dalam penelitian ini.

2.1.1 ESP32-CAM

ESP32-CAM adalah sebuah modul mikrokontroler berbasis *ESP32* yang dilengkapi dengan kamera dan memiliki kemampuan konektivitas *Wifi* dan *bluetooth* bawaan. Modul ini sangat populer kalangan mahasiswa dan pengembang IoT karena ukurannya kecil, harganya yang murah, dan kemampuan yang cukup kuat untuk proyek-proyek seperti kamera pengawas, *face recognition*, *smart door lock*, dan lainnya. Modul ini juga dilengkapi dengan *slot micro SD card* untuk menyimpan gambar atau video. berkat fitur-fitur yang lengkap, *ESP32-CAM* sering dijadikan pilihan utama dalam pembuatan *prototype* sistem keamanan berbasis kamera, robot pintar, atau sistem pemantauan lingkungan secara *real-time* melalui jaringan internet.



Gambar 2. 1 ESP32-CAM dengan Pin Out¹

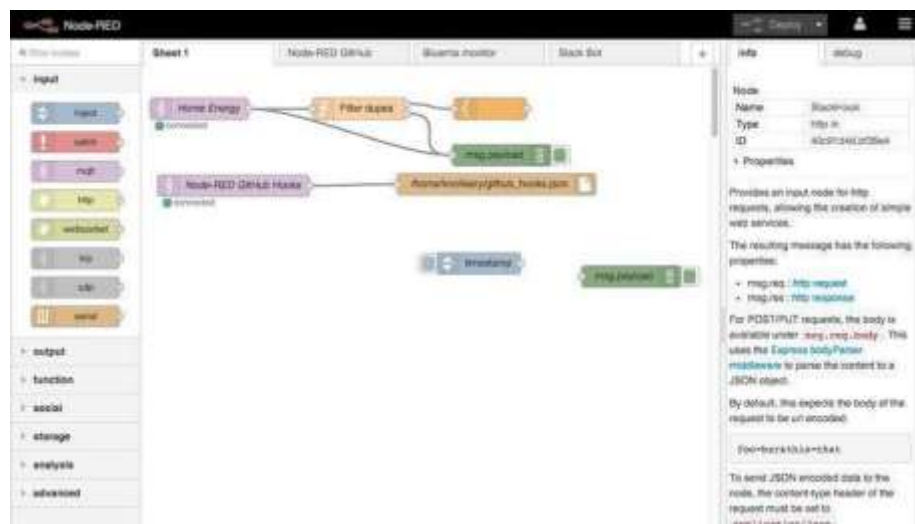
¹ Sumber : <https://randomnerdtutorials.com/esp32-cam-ai-thinker-pinout/>

Bisa di lihat pada Gambar 2.1 di atas ini memiliki dua sisi dalam rangkaiannya. Di bagian atas terdapat modul kamera yang dapat dibongkar padang dan ada *microSD* yang dapat diisi, serta terdapat flash sebagai lampu tambahan untuk kamera jika diperlukan. Di bagian belakang modul terdapat juga antena internal, konektor untuk antena eksternal, pin *male* untuk *I/O* dan *ESP32CAM* sebagai otaknya.

2.1.2 Node Red

Node RED merupakan platform berbasis alur (*publish programing*) yang dikembangkan oleh IBM untuk memudahkan pengembangan aplikasi *Internet of Things*. Platform ini menyediakan antarmuka berbasis *web* yang memungkinkan pengguna untuk menyusun alur logika dengan menggunakan node yang dapat dihubungkan secara visual. *Node RED* juga dirancang untuk mengintegrasikan perangkat keras, *API*, dan layanan online dengan cara yang sederhana dan efisien (Informasi & Riau, 2025).

Keunggulan utama *Node RED* yaitu memudahkan pengembangan sistem otomatisasi dan pemantauan, karena pengguna tidak perlu menulis kode secara manual secara keseluruhan. *Node RED* juga mendukung berbagai protokol komunikasi seperti *MQTT*, *HTTP*, dan *WebSocket*, yang menjadikannya sangat cocok untuk implementasi proyek berbasis *IoT* dan *smart Surveillance*.



Gambar 2. 2 Node RED²

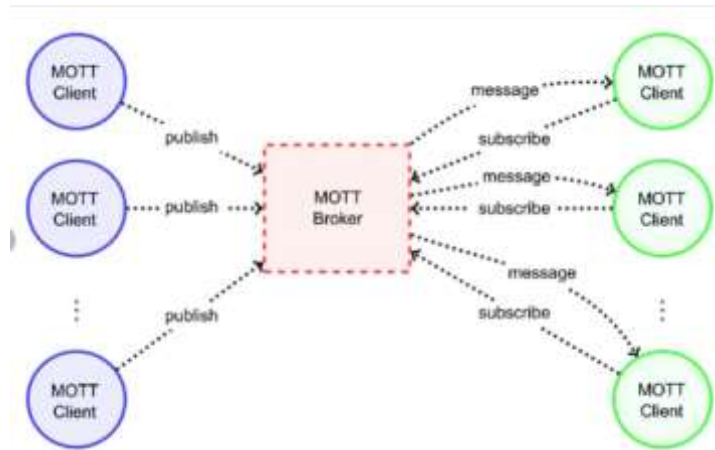
² Sumber : <https://github.com/iotfablab/node-red-flowchart-frontend>

2.1.3 Protokol MQTT

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) Merupakan protokol komunikasi ringan berbasis *publish-subscribe* yang dirancang untuk perangkat dengan sumberdaya terbatas dan jaringan yang memiliki *bandwidth* yang rendah (Soni & Makwana, 2017). Protokol ini bekerja diatas *TCP/IP* dan menggunakan arsitektur *broker-client*, dimana perangkat pengirim(*publisher*) akan mengirim pesan dengan topik tertentu dan pihak penerima(*subscribe*) akan menerima pesan jika berlangganan pada topik yang sama (Mulyono et al., 2018). *Broker* bertanggung jawab untuk mendistribusikan pesan ke klien yang sesuai. *MQTT* banyak digunakan pada *IoT* karena efisiensi penggunaan daya, kecepatan transfer tinggi, dan keandalannya dalam kondisi jaringan yang tidak stabil. Karakteristik ini menjadikan *MQTT* sangat cocok untuk aplikasi *real-time* seperti pemantauan sensor dan pengendalian perangkat *IoT*.

Keunggulan MQTT terletak pada efisiensinya dalam penggunaan daya dan data. MQTT memiliki overhead yang sangat kecil dibandingkan protokol komunikasi lainnya seperti HTTP, hal ini memungkinkan perangkat IoT seperti mikrokontroler, sensor, dan aktuator tetap terhubung dan bertukar data dalam waktu yang lama. Selain itu, MQTT juga mendukung fitur *Quality of Service (QoS)* dengan tiga tingkatan (QoS 0, 1, dan 2) yang memungkinkan pengembang mengatur tingkat keandalan pengiriman pesan sesuai dengan kebutuhan aplikasi.

Saat ini, MQTT telah menjadi standar *de facto* dalam berbagai sistem otomasi rumah(*smart home*), pertanian cerdas(*smart agriculture*), logistik, dan bahkan industri manufaktur. Dengan dukungan dari berbagai platform dan perangkat lunak *open-source* seperti *mosquitto*, *Node-RED*, dan *Home Assistant*, MQTT menjadi salah satu protokol paling populer untuk integrasi sensor dan perangkat cerdas. Sifatnya yang ringan, efisien, dan stabil menjadikannya solusi ideal untuk komunikasi data secara *real-time* di lingkungan IoT yang terus berkembang (Informasi & Riau, 2025).



Gambar 2. 3 MQTT Process³

2.1.4 Sensor Gerak(PIR Sensor)

Sensor gerak PIR adalah perangkat yang mendeteksi pergerakan dengan menangkap radiasi inframerah yang dipancarkan oleh objek, terutama manusia atau hewan. Sesuai dengan namanya, sensor ini bersifat pasif, yang berarti ia tidak memancarkan sinyal inframerah sendiri, melainkan hanya bertugas sebagai penerima energi panas yang ada di sekitarnya. Sensor PIR sangat umum digunakan dalam berbagai aplikasi sistem keamanan, pintu otomatis, dan sistem pencahayaan pintar karena kemampuannya yang andal untuk memicu suatu aksi—seperti menyalakan alarm, lampu, atau kamera—ketika mendeteksi adanya gerakan dalam jangkauannya.

Prinsip kerja sensor PIR didasarkan pada pendeteksian perubahan suhu di area sekitarnya. Ketika sebuah objek hangat seperti manusia bergerak melintasi bidang pandang sensor, terjadi perubahan mendadak pada jumlah radiasi inframerah yang diterima. Proses ini dimulai ketika pancaran inframerah dari objek masuk melalui Lensa Fresnel, yang berfungsi memfokuskan radiasi dari area yang luas ke titik sensor yang kecil. Sinar inframerah yang terfokus kemudian mengenai sensor piroelektrik, sebuah material kristal yang sangat sensitif terhadap panas dan akan menghasilkan arus listrik lemah ketika terjadi perubahan suhu. Arus listrik ini kemudian diperkuat dan diubah menjadi sinyal tegangan yang akan dianalisis oleh komparator. Jika terdeteksi perubahan yang signifikan, komparator akan

³ Sumber : <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=104212>

mengeluarkan sinyal digital HIGH (logika 1); jika tidak, sinyal akan tetap LOW (logika 0) (Sugiarto et al., 2024).



Gambar 2. 4 Sensor PIR⁴

2.1.5 Arduino IDE

Arduino IDE merupakan software editor teks yang mendukung pemrograman berbagai macam mikrokontroler, diantaranya seperti Arduino dan NodeMCU ESP8266. Software ini dapat dihubungkan dengan papan mikrokontroler untuk mengunggah program dan melakukan komunikasi dengan mikrokontroler. Beberapa fungsi yang tersedia seperti menu Sketchbook, Board Manager, Library Manager, Debugger, dan Search. Terdapat juga Serial Monitor yang dapat digunakan untuk melakukan komunikasi antara Arduino IDE dengan papan mikrokontroler.

Seiring perkembangan, Arduino telah merilis versi terbarunya, yaitu Arduino IDE 2, yang merupakan penyempurnaan signifikan dari IDE klasik. Versi ini menawarkan peningkatan performa, antarmuka pengguna yang lebih modern, dan berbagai fitur baru yang sangat membantu proses pengembangan. Beberapa fitur unggulan yang diperkenalkan antara lain adalah autocompletion (pelengkapan kode otomatis) yang cerdas, debugger bawaan untuk pengujian *real-time*, serta kemampuan untuk menyinkronkan sketch (kode program) dengan Arduino Cloud

Salah satu perubahan paling terlihat pada Arduino IDE 2 adalah antarmuka yang lebih rapi dengan penambahan sidebar di sisi kiri layar. Sidebar ini dirancang untuk membuat alat-alat yang paling sering digunakan menjadi lebih mudah diakses. Di dalamnya terdapat menu-menu penting seperti Sketchbook untuk mengakses semua kode yang tersimpan secara lokal maupun di cloud, Boards

⁴ Sumber : <https://www.arduinoindonesia.id/2022/11/penjelasan-tentang-sensor-pir.html>

Manager untuk mengelola paket papan mikrokontroler, dan Library Manager untuk mencari dan menginstal ribuan pustaka yang dibuat oleh Arduino maupun komunitas global (Muhammad Yunus, 2021).

2.1.6 Buzzer

Buzzer adalah perangkat output yang menghasilkan suara atau nada ketika diberikan sinyal listrik. Di sisi lain, sensor, seperti sensor suhu yang mendeteksi perubahan suhu dan sensor cahaya, mendeteksi perubahan lingkungan dan mengubahnya menjadi sinyal Listrik sebagai salah satu jenis Transduser, fungsi utama *buzzer* adalah mengubah energi listrik menjadi getaran suara dengan frekuensi audio yang dapat didengar manusia, umumnya berkisar antara 1 hingga 5 KHz. Dalam dunia elektronika, jenis yang paling umum ditemui adalah *Buzzer* Piezoelektrik. Tipe ini sangat populer karena memiliki beberapa keunggulan, di antaranya adalah harganya yang relatif lebih murah, bobotnya yang ringan, dan kemudahan dalam pengaplikasiannya pada berbagai rangkaian.

Prinsip kerja *buzzer* pada dasarnya mirip dengan loudspeaker, namun dalam bentuk yang lebih sederhana. Di dalam *buzzer* terdapat sebuah kumparan yang terpasang pada diafragma. Ketika kumparan ini dialiri arus listrik, ia akan berubah menjadi elektromagnet. Sifat magnetis ini menyebabkan kumparan ditarik masuk atau didorong keluar, yang kemudian menggerakkan diafragma secara bolak-balik. Gerakan cepat dari diafragma inilah yang menggetarkan udara di sekitarnya dan menghasilkan gelombang suara. Perbedaan utamanya dengan loudspeaker adalah *buzzer* dapat diaktifkan dengan lebih mudah, seringkali hanya dengan memberikan tegangan listrik langsung tanpa memerlukan rangkaian penguat audio yang kompleks (Kurniawan & Hariyanto, 2023).



Gambar 2. 5 Buzzer⁵

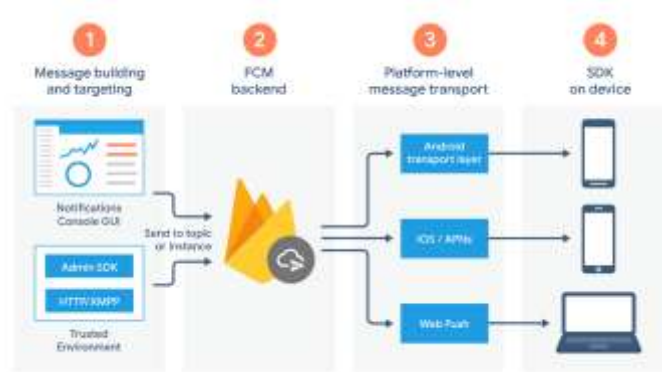
⁵ Sumber : <https://www.belajaronline.net/2020/10/pengertian-buzzer-elektronika-fungsi-prinsip-kerja.html>

2.1.7 Firebase

Firebase adalah suatu layanan dari Google untuk memberikan kemudahan bahkan mempermudah para developer aplikasi dalam mengembangkan aplikasinya. *Firebase* alias BaaS (*Backend as a Service*) merupakan solusi yang ditawarkan oleh Google untuk mempercepat pekerjaan developer. Dengan menggunakan *Firebase*, apps developer bisa fokus dalam mengembangkan aplikasi tanpa memberikan effort yang besar untuk urusan *Backend*. Mengenai segi layanan, *Firebase* memberikan service trial (percobaan), namun saat ini kamu bisa memanfaatkan dan menggunakan layanan *Firebase* secara free (gratis). Tentu saja dengan adanya batasan-batasan tertentu.

Konsep *Backend as a Service* (BaaS) ini secara fundamental mengubah cara pengembangan aplikasi. *Firebase* menyediakan infrastruktur *Backend* yang siap pakai, mencakup database, otentikasi pengguna, penyimpanan file, dan hosting, sehingga developer tidak perlu lagi membangun dan memelihara server secara manual. Hal ini memungkinkan pengembang untuk mencurahkan lebih banyak waktu dan sumber daya pada pengembangan sisi klien (*frontend*), seperti antarmuka dan pengalaman pengguna, karena seluruh urusan sisi server telah ditangani oleh Google.

Secara fungsional, layanan *Firebase* dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori utama: *Firebase Build* untuk membangun aplikasi, *Firebase Release & Monitor* untuk merilis dan memantau kinerja aplikasi, serta *Firebase Engage* untuk meningkatkan interaksi dengan pengguna. Setiap kategori ini menyediakan serangkaian tools yang saling terintegrasi untuk mendukung siklus hidup pengembangan aplikasi secara menyeluruh .



Gambar 2. 6 Firebase⁶

2.1.8 MediaPipe Object Detector dan Model EfficientDet

MediaPipe adalah sebuah *framework* (kerangka kerja) *open-source* yang dikembangkan oleh Google untuk membangun saluran pipa (*pipeline*) pemrosesan data *machine learning* secara lintas platform. *Framework* ini sangat populer dalam pengembangan aplikasi visi komputer (*computer vision*) karena kemampuannya dalam memproses aliran data video atau audio secara *real-time* dengan tingkat efisiensi komputasi yang sangat tinggi.

Dalam konteks *computer vision*, salah satu tugas utamanya adalah *Object Detection* (Deteksi Objek), yaitu kemampuan mesin untuk "melihat", mengenali kelas objek, dan menentukan lokasi objek tersebut di dalam sebuah citra atau *frame* video. Untuk menjalankan tugas ini, MediaPipe Object Detector menggunakan arsitektur jaringan saraf tiruan (*neural network*) berbasis *Deep Learning*, salah satunya adalah arsitektur EfficientDet.

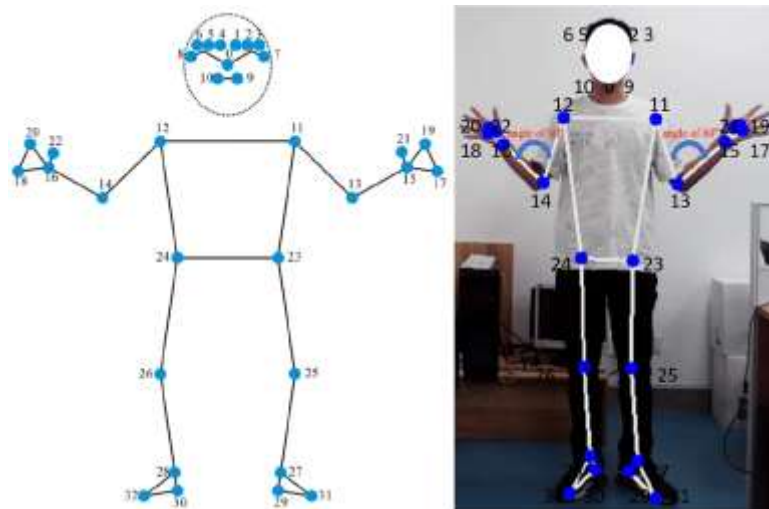
EfficientDet (*Efficient Object Detection*) adalah model pendeteksi objek mutakhir yang dirancang untuk memberikan akurasi tinggi sekaligus menjaga efisiensi penggunaan sumber daya komputasi. Pada implementasi sistem IoT atau *server* ringan, varian yang sering digunakan adalah EfficientDet-Lite (dalam format *.tflite*). Model ini telah dilatih (*pre-trained*) menggunakan *dataset* berskala besar, seperti COCO (*Common Objects in Context*), sehingga secara bawaan mampu mengklasifikasikan puluhan jenis objek dasar secara mandiri. Dalam konteks

⁶ Sumber : <https://www.rumahweb.com/journal/wp-content/uploads/2024/10/Firebase-Diagram-FCM.png>

sistem keamanan, kelas objek utama yang menjadi fokus ekstraksi adalah keberadaan "Manusia" (*Person*).

Proses kerja pendeteksian ini dimulai dengan menerima *input* berupa gambar yang ditangkap oleh kamera. Model *machine learning* kemudian memindai kumpulan matriks piksel pada gambar tersebut untuk mencari kecocokan pola fitur anatomi objek. Jika model mengidentifikasi adanya pola yang cocok dengan manusia, sistem akan mengembalikan *output*.

Pendekatan berbasis *Deep Learning* menggunakan MediaPipe dan EfficientDet ini jauh lebih tangguh terhadap variasi pose tubuh, intensitas pencahayaan, maupun halangan parsial (*occlusion*) dibandingkan dengan metode pendeteksian piksel statis seperti Haar Cascades. Oleh karena itu, metode ini sangat ideal diterapkan sebagai sistem validasi visual untuk meminimalisir alarm peringatan palsu (*false positive*) pada kamera keamanan cerdas.



Gambar 2. 7deteksi titik (landmark) MediaPipe⁷

2.2 Penelitian Terdahulu

Pada bagian ini akan dipaparkan beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini. Hal ini bertujuan untuk melakukan pengambilan referensi yang mendukung penelitian saat ini serta sebagai perbandingan antara penelitian ini dengan penelitian terdahulu.

⁷ Sumber : <https://www.nature.com/articles/s41598-024-66221-8/figures/2>

Penelitian oleh Fadillah dan Purwanto(2022) dengan judul Prototipe Keamanan Rumah Menggunakan ESP32 Cam dan Sensor PIR Berbasis. Penelitian ini Menggunakan ESP32 Cam dan Sensor PIR dengan Aplikasi Android dilatarbelakangi oleh meningkatnya angka kejahatan dan kebutuhan akan sistem keamanan yang lebih responsif. Sistem yang dikembangkan menggunakan arsitektur ganda yang terdiri dari ESP32-CAM sebagai microcontroller utama untuk konektivitas internet dan Arduino Uno sebagai sistem alarm cadangan jika koneksi terputus. Ketika sensor PIR mendeteksi gerakan, ESP32-CAM akan mengambil gambar dan mengirimkan pemberitahuan ke pengguna. Inovasi utama dalam penelitian ini adalah pengembangan aplikasi Android khusus yang tidak hanya menampilkan gambar bukti, tetapi juga berfungsi sebagai pusat kontrol untuk mengaktifkan/menonaktifkan sensor dan lampu. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa prototipe berhasil dibuat dan berfungsi dengan baik , namun ditemukan adanya perbedaan waktu tunda (*delay*) saat sistem beroperasi menggunakan jaringan WiFi dibandingkan dengan jaringan seluler.

Penelitian yang dilakukan oleh Hery Kurniawan & Hariyanto(2023) dalam skripsi yang berjudul Designing Home Security With Esp32-Cam and IoT-Based Alarm Notification Using Telegram. bertujuan merancang sistem keamanan untuk mengatasi masalah pencurian di rumah yang ditinggal kosong, dengan fokus pada penyediaan notifikasi alarm berbasis IoT yang tidak dimiliki sistem konvensional. sistem ini menggunakan sensor PIR untuk mendeteksi perubahan gelombang inframerah dari objek yang bergerak di sekitarnya. Ketika gerakan terdeteksi, ESP32-CAM secara otomatis mengambil gambar, membunyikan *buzzer*, dan mengirimkan notifikasi beserta gambar tersebut ke pengguna melalui Bot Telegram. Selain menerima notifikasi otomatis, pengguna juga dapat berinteraksi dengan sistem secara manual melalui Bot Telegram untuk memberi perintah mengambil foto atau mengaktifkan dan menonaktifkan *buzzer*. Hasil pengujian menyimpulkan bahwa perangkat berhasil diimplementasikan dan berfungsi sesuai rancangan, dengan sensor mampu mendeteksi gerakan hingga jarak 6 meter. Namun, penelitian ini juga mencatat adanya beberapa keterbatasan, seperti kualitas gambar yang kurang jernih, sesekali terjadi jeda waktu (*delay*), dan panas berlebihan (*overheating*) pada mikrokontroler. Penelitian ini di lakukan oleh Kusuma

dkk.(2023) dengan judul sistem keamanan rumah berbais ESP32-CAM dan telegram sebagai notifikasi. penelitian ini merancang sebuah sistem keamanan untuk mengatasi maraknya pencurian di rumah. Sistem ini dibuat menggunakan mikrokontroler ESP32-CAM yang dilengkapi dengan sensor gerak PIR (Passive Infrared). Cara kerja alat ini adalah ketika sensor PIR mendeteksi adanya gerakan dalam jangkauan efektifnya, yaitu hingga jarak 3 meter, maka ESP32-CAM akan secara otomatis mengambil gambar. Setelah gambar diambil, sistem akan langsung mengirimkannya sebagai notifikasi ke aplikasi Telegram milik pengguna, sehingga pemilik rumah dapat memantau kondisi rumahnya secara *real-time* melalui ponsel. Pengguna juga dapat mengontrol beberapa fungsi alat, seperti mengaktifkan atau menonaktifkan sensor PIR, melalui perintah di Telegram.

Penelitian ini dilakukan oleh Purwoto & Setiawan (2024) dengan judul *Rancang Bangun Sistem Keamanan dengan PIR Motion Sensor dan ESP32-CAM Berbasis IoT*. Penelitian ini merancang sistem keamanan rumah yang tidak hanya memantau visual, tetapi juga memiliki fitur peringatan suara dan otomatisasi penerangan. Sistem ini menggunakan dua mikrokontroler, yaitu ESP32-CAM untuk *video streaming* dan ESP32 untuk pemrosesan sensor. Komponen pendukung meliputi sensor PIR untuk deteksi gerak, sensor LDR untuk mendeteksi intensitas cahaya, *Relay* untuk kontrol lampu otomatis, serta DFPlayer Mini untuk mengeluarkan suara peringatan. Mekanisme kerjanya adalah ketika sensor PIR mendeteksi gerakan, sistem akan mengirim notifikasi ke aplikasi Blynk dan Email. Jika kondisi lingkungan gelap, sensor LDR akan memicu *Relay* untuk menyalakan lampu secara otomatis guna membantu pencahayaan kamera. Pengguna juga dapat memicu 6 jenis suara peringatan berbeda melalui aplikasi Blynk untuk mengusir penyusup. Hasil pengujian menunjukkan sensor PIR efektif mendeteksi hingga jarak 10 meter, dan *video streaming* memiliki *delay* rata-rata 2 detik.

Penelitian ini dilakukan oleh Faris Humam dan Muhammad Agus Triawan (2024) dengan judul *Sistem Keamanan Ruangan Menggunakan ESP32CAM dan Sensor Gerak Berbasis IoT*. Penelitian ini merancang sebuah sistem keamanan ruangan untuk mengatasi kekurangan CCTV konvensional yang tidak dapat memberikan notifikasi pergerakan secara langsung. Sistem yang dirancang berbentuk kotak kecil yang berisi ESP32-CAM dan sensor PIR. Ketika sensor PIR

mendeteksi pergerakan objek, ESP32-CAM secara otomatis akan mengambil gambar dan mengirimkannya sebagai pesan foto ke Telegram melalui koneksi WiFi, sementara sebuah *buzzer* juga akan berbunyi sebagai alarm lokal. Selain menerima peringatan, pengguna juga dapat berinteraksi dengan sistem melalui perintah di Telegram untuk mengaktifkan dan menonaktifkan sensor PIR. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil mendeteksi pergerakan manusia hingga jarak 4 meter dan juga pergerakan hewan. Waktu tercepat bagi sensor untuk merespons dan memfoto adalah 1,15 detik, dan yang terlama adalah 2,14 detik. Penelitian ini menyimpulkan bahwa sistem yang dibangun berfungsi dengan baik sebagai solusi keamanan yang memberikan peringatan dini.

Tabel 2. 1 Perbandingan variabel penelitian

Kategori	Peneliti 1	Peneliti 2	Peneliti 3	Peneliti 4	Peneliti 5
Penulis	Fadillah & Purwanto	Kurniawan & Hariyanto	Hollanda Arief Kusuma, Setia Budi Wijaya, dan Deny Nusyirwan	Purwoto & Setiawan	Faris Humam dan Muhammad Agus Triawan
Tahun	2022	2023	2023	2024	2024
Judul	Prototipe Keamanan Rumah Menggunakan ESP32 Cam dan Sensor PIR Berbasis Android	Designing Home Security With ESP32-CAM and IoT-Based Alarm Notification Using Telegram	Sistem Keamanan Rumah Berbasis ESP32-CAM dan Telegram sebagai Notifikasi	RANCANG BANGUN SISTEM KEAMANA N DENGAN PIR MOTION SENSOR DAN ESP32-CAM BERBASIS IOT	Sistem Keamanan Ruangan Menggunakan ESP32CAM dan Sensor Gerak Berbasis IoT
Metode/Tools	ESP32-CAM, Arduino Uno, Sensor PIR, dan Aplikasi Android	ESP32-CAM, Sensor PIR, <i>Buzzer</i> , dan Bot Telegram	ESP32-CAM, Sensor PIR, dan Bot Telegram.	ESP32-CAM, ESP32, Sensor PIR, LDR, <i>Relay</i> , DFPlayer Mini, Aplikasi Blynk, dan Email.	ESP32-CAM, Sensor PIR, <i>Buzzer</i> , dan Bot Telegram via koneksi WiFi.

Kategori	Peneliti 1	Peneliti 2	Peneliti 3	Peneliti 4	Peneliti 5
Hasil Utama	Prototipe berfungsi baik. Terdapat fitur kontrol via Android, namun ditemukan perbedaan <i>delay</i> antara penggunaan WiFi dan seluler.	PIR mampu mendeteksi hingga jarak 6 meter. Pengiriman foto & kontrol via <i>buzzer</i> via Telegram berhasil, namun terdapat isu gambar kurang jernih, <i>delay</i> , dan perangkat <i>overheating</i>	PIR efektif hingga jarak 3 meter. Sistem berhasil mengirim foto <i>real-time</i> dan merespon perintah kontrol aktif/nonaktif sensor dari Telegram.	PIR mendeteksi hingga jarak 10 meter dengan <i>delay video</i> rata-rata 2 detik. Sistem otomatisasi lampu malam dan 6 jenis suara peringatan berfungsi.	Deteksi manusia dan hewan berhasil hingga jarak 4 meter. Waktu respons sistem tercepat tercatat 1,15 detik dan terlama 2,14 detik.
Relevansi dengan Penelitian	Menjadi referensi utama dalam perancangan <i>hardware</i> (ESP32-CAM dan PIR) serta evaluasi performa <i>delay</i> pada jaringan internet.	Menjadi acuan dasar dalam integrasi Bot Telegram dan aktuator (<i>buzzer</i>), sekaligus perbandingan untuk mengatasi masalah <i>overheating</i> dan <i>delay</i> .	Menjadi referensi arsitektur pengiriman notifikasi visual (<i>capture</i> gambar) secara instan (<i>real-time</i>) ke perangkat <i>smartphone</i> pengguna.	Sebagai pembanding metode otomatisasi pencahayaan saat malam hari (penggunaan LED <i>Flash</i> internal vs modul LDR eksternal).	Menjadi tolak ukur (<i>benchmark</i>) dalam pengujian <i>Quality of Service</i> (QoS) terkait waktu respons sistem dalam hitungan detik.

Tabel 2.1 dibawah merangkum perbandingan antara penelitian terdahulu dengan usulan penelitian saat ini. Dibandingkan dengan penelitian-penelitian terdahulu yang berfokus pada pengiriman notifikasi langsung setelah gerakan terdeteksi, penelitian ini mengusulkan sebuah inovasi untuk mengatasi masalah *false positive* yang telah terbukti ada. Penelitian ini akan memanfaatkan ESP32-

CAM tidak hanya untuk mengambil gambar, tetapi juga untuk melakukan validasi visual sederhana untuk mendeteksi keberadaan manusia setelah sensor PIR terpicu. Selain itu, seluruh alur kerja sistem akan dikelola menggunakan platform *Node-RED*, yang memungkinkan integrasi dan kustomisasi logika yang lebih fleksibel.