

## ESP32-CAM Camera Integration and Android Control for Portable Real-Time Surveillance Solution

DOI: <http://dx.doi.org/10.35889/progresif.v21i2.2700>

Creative Commons License 4.0 (CC BY –NC)



Zulhipni Reno Saputra Elsi<sup>1\*</sup>, Dedi Haryanto<sup>2</sup>, Muhammad Ihsan<sup>3</sup>

Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Palembang, Palembang, Indonesia

\*e-mail *Corresponding Author*: [zulhipni\\_renosaputra@um-palembang.ac.id](mailto:zulhipni_renosaputra@um-palembang.ac.id)

### Abstract

*The development of Internet of Things (IoT) technology has encouraged the creation of a more flexible and efficient intelligent surveillance system. This research aims to design and implement an ESP32-CAM-based surveillance car prototype capable of real-time visual monitoring via Wi-Fi connection. The system integrates an ESP32-CAM microcontroller, an L298N motor driver, and four DC motors, and is controlled through a specially developed Android application to set the direction of motion and receive live video displays from the camera. Test results show that the system has stable connectivity performance with an average delay of 0.88 seconds, motor control response of 0.48 seconds, and good quality video streaming with an average delay of 1.09 seconds. The effective operational range was recorded up to 30 meters with acceptable connection quality. The system shows potential as a cost-effective, portable, and easily accessible surveillance solution for applications in hard-to-reach or high-risk areas. This research opens up further development opportunities with the integration of artificial intelligence, additional sensors, as well as expansion of the communication range.*

**Keywords:** *IoT; ESP32-CAM; Real-Time Surveillance; Surveillance RC Car; Video Streaming*

### Abstrak

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) telah mendorong terciptanya sistem pengawasan cerdas yang lebih fleksibel dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan prototipe mobil pengawasan berbasis ESP32-CAM yang mampu melakukan pemantauan visual secara *real-time* melalui koneksi Wi-Fi. Sistem ini mengintegrasikan mikrokontroler ESP32-CAM, driver motor L298N, dan empat motor DC, serta dikendalikan melalui aplikasi Android yang dikembangkan khusus untuk mengatur arah gerak dan menerima tampilan video langsung dari kamera. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki performa konektivitas yang stabil dengan rata-rata delay 0,88 detik, respons kendali motor sebesar 0,48 detik, dan streaming video berkualitas baik dengan delay rata-rata 1,09 detik. Jangkauan operasional efektif tercatat hingga 30 Meter dengan kualitas koneksi yang masih dapat diterima. Sistem ini menunjukkan potensi sebagai solusi pengawasan yang hemat biaya, portabel, dan mudah diakses untuk aplikasi di area yang sulit dijangkau atau berisiko tinggi. Penelitian ini membuka peluang pengembangan lebih lanjut dengan integrasi kecerdasan buatan, sensor tambahan, serta perluasan jangkauan komunikasi.

**Kata kunci:** *IoT; ESP32-CAM; Pengawasan Real-Time; Mobil RC Pengintai; Streaming Video*

### 1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) telah membuka peluang besar dalam menciptakan sistem pengawasan cerdas yang lebih fleksibel, efisien, dan dapat diakses secara *real-time*. Di berbagai sektor seperti keamanan, industri, dan pemantauan lingkungan, kebutuhan akan sistem pengawasan adaptif yang mampu menjangkau area-area yang sulit dijangkau manusia semakin meningkat [1], [2]. Teknologi IoT memungkinkan pengembangan perangkat cerdas yang mampu mengawasi dan mengirimkan data visual secara langsung tanpa

bergantung pada infrastruktur pengawasan konvensional [3],[4]. Salah satu perangkat yang potensial dan populer dalam pengembangan sistem semacam ini adalah ESP32-CAM, yaitu modul mikrokontroler dengan kamera terintegrasi dan konektivitas Wi-Fi, yang dikenal hemat biaya dan konsumsi daya rendah [5], [6].

Namun, sistem pengawasan konvensional seperti CCTV statis memiliki berbagai keterbatasan signifikan, seperti jangkauan tetap, keterbatasan mobilitas, serta biaya instalasi dan perawatan yang tinggi [7], [8]. Kondisi ini menjadi tantangan nyata khususnya dalam pengawasan area dinamis seperti lokasi rawan bencana, ruang sempit, atau kawasan berisiko tinggi. Selain itu, dalam era modern yang serba terkoneksi, kebutuhan akan sistem pengawasan mobile yang dapat dikendalikan jarak jauh secara *real-time* menjadi semakin mendesak. Beberapa penelitian telah mengembangkan solusi berbasis mikrokontroler untuk kendaraan pengawas [9], [10] namun integrasi menyeluruh antara fitur mobilitas, kontrol nirkabel, dan kemampuan *streaming* visual *real-time* dengan efisiensi biaya yang tinggi masih belum banyak ditemukan [11], [12].

Sebagai jawaban atas permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan prototipe sistem pengawasan *mobile* berbasis ESP32-CAM yang dapat dikendalikan melalui aplikasi Android dan memanfaatkan koneksi Wi-Fi sebagai media komunikasi dua arah. Sistem ini menggabungkan kemampuan pengawasan visual secara *real-time*, pengendalian kendaraan berbasis motor DC, serta integrasi dengan *driver* motor L298N dalam satu platform yang portabel dan ekonomis. Teknologi ini memungkinkan *streaming* video langsung dari lokasi pemantauan dan pengontrolan gerak kendaraan dari jarak jauh secara simultan. Pendekatan ini diperkuat oleh hasil studi sebelumnya yang menunjukkan efektivitas ESP32-CAM dalam pengawasan berbasis IoT dan kendali robotik jarak jauh [13], [14], [15]. Dengan demikian, solusi yang ditawarkan tidak hanya menjawab kebutuhan fleksibilitas dan jangkauan, tetapi juga mendukung efisiensi biaya dan aksesibilitas teknologi, termasuk untuk kebutuhan akademik, komunitas, dan industri kecil.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pengawasan mobile berbasis ESP32-CAM yang mampu melakukan pemantauan visual secara *real-time*, fleksibel, dan hemat biaya. Manfaat yang ingin dicapai dari pengembangan sistem ini antara lain adalah: (1) menghadirkan solusi pengawasan dinamis yang dapat digunakan di area berisiko tinggi dan sulit dijangkau manusia; (2) menyediakan sistem pengawasan yang terjangkau, berbasis komponen *open-source*; serta (3) membuka peluang integrasi lebih lanjut dengan kecerdasan buatan dan sensor tambahan untuk memperluas aplikasi di bidang keamanan, mitigasi bencana, serta pemantauan lingkungan industri dan public.

Secara lebih rinci, kontribusi utama dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengembangan Prototipe Mobil Pengawasan *Mobile* Berbasis ESP32-CAM, penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sebuah sistem mobil pengawasan yang terintegrasi dengan modul ESP32-CAM, memungkinkan pengawasan visual secara *real-time* dengan biaya rendah. Prototipe ini menunjukkan bahwa perangkat sederhana dan ekonomis dapat menghasilkan performa yang cukup andal dalam pemantauan lingkungan.
2. Integrasi Sistem Pengendali dan *Streaming* Video *Real-Time*, sistem yang dibangun menggabungkan kendali kendaraan berbasis motor DC dengan pengiriman citra dan video secara simultan melalui koneksi Wi-Fi. Hal ini menciptakan sistem terpadu yang mampu merespons perintah pengguna secara langsung, sembari menyajikan visualisasi kondisi lingkungan secara aktual.
3. Solusi Alternatif Pengawasan untuk Area Berisiko dan Sulit Dijangkau, mobil pengawasan ini dirancang untuk menjangkau lokasi yang sulit atau berbahaya bagi manusia, seperti area bencana, ruang sempit, atau lokasi dengan risiko tinggi. Hal ini berkontribusi dalam pengembangan teknologi pengganti peran manusia dalam situasi rawan.
4. Efisiensi Biaya dan Aksesibilitas, sistem yang dikembangkan menggunakan komponen *open source* dan perangkat keras yang mudah dijangkau, seperti ESP32-CAM dan *driver* motor L298N, sehingga cocok untuk diterapkan oleh kalangan akademik, pelaku industri kecil, maupun komunitas pengembang teknologi. Hal ini mendukung pengembangan sistem pengawasan yang terjangkau dan dapat dikustomisasi.

## 2. Tinjauan Pustaka

Berbagai penelitian sebelumnya telah menunjukkan pentingnya integrasi antara teknologi mikrokontroler, komunikasi nirkabel, dan sistem pengawasan berbasis kendaraan

bergerak. Peneliti [9] mengembangkan prototipe mobil RC berbasis Arduino yang dapat dikendalikan melalui koneksi *Bluetooth* dari perangkat Android serta dilengkapi dengan sensor ultrasonik untuk menghindari tabrakan. Hal ini membuktikan bahwa mikrokontroler sederhana mampu memberikan fungsi dasar pengendalian dan keselamatan.

Penelitian oleh [10] menawarkan sistem pengawasan berbasis ESP32 dan sensor PIR yang dikombinasikan dengan teknologi IoT dan API TWILIO untuk pengiriman notifikasi. Sistem ini menekankan efisiensi biaya dan implementasi yang dapat diakses di wilayah dengan sumber daya terbatas. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi sistem lebih dari 50% dibanding sistem pengawasan konvensional, namun fokus sistem ini lebih kepada sistem stasioner, bukan kendaraan bergerak.

Penelitian lainnya oleh [16] menunjukkan bahwa ESP32-CAM yang dikendalikan via *WebSocket* mampu menyediakan citra dan video *real-time* yang stabil, serta kontrol yang responsif, menunjukkan potensi ESP32-CAM dalam penerapan robot pengintai yang efisien. Hal serupa juga ditunjukkan oleh [17], yang berhasil mengembangkan sistem robot pengintai berbasis web yang dikendalikan melalui *smartphone*, dan [18], yang mengimplementasikan ESP32-CAM pada mobil RC untuk membantu misi pencarian korban bencana alam.

Selanjutnya, peneliti [19] memperkenalkan robot patroli malam otomatis yang dilengkapi dengan kamera *night vision* dan sensor penghindar rintangan. Robot ini dirancang untuk mendeteksi pergerakan manusia secara acak dalam area tertentu, menangkap gambar kejadian mencurigakan, dan mengirimkan data secara instan kepada pengguna. Dengan akurasi deteksi melebihi 90%, sistem ini menunjukkan potensi signifikan untuk aplikasi keamanan malam hari. Penelitian ini juga menyoroti pentingnya integrasi algoritma kecerdasan buatan dalam meningkatkan efektivitas deteksi dan respons terhadap ancaman.

Dalam konteks efisiensi dan keterjangkauan sistem pengawasan, [20] mengembangkan sistem *surveillance* berbasis ESP32-CAM yang fokus pada deteksi gerakan untuk mencegah aksi pencurian. Sistem ini mampu mengirimkan notifikasi secara langsung saat mendeteksi pergerakan di area tertentu, menjadikannya solusi yang cocok untuk rumah pribadi, kantor kecil, atau area dengan kebutuhan pengawasan minim namun *real-time*. Penelitian ini memperlihatkan bagaimana teknologi *surveillance* yang terjangkau dan adaptif dapat diimplementasikan secara praktis untuk kebutuhan keamanan properti skala kecil.

Peneliti [21] merancang robot *surveillance* jarak jauh yang menggabungkan modul NodeMCU ESP8266 dan ESP32-CAM dengan antarmuka *Blynk*. Sistem ini menekankan pada kemudahan kontrol pengguna melalui aplikasi mobile serta kualitas video streaming *real-time*. Dengan dukungan motor *driver* L298N, robot mampu melakukan manuver kompleks di berbagai kondisi medan. Pendekatan ini menggabungkan fleksibilitas IoT, kemampuan pengawasan visual, dan kemudahan pengendalian jarak jauh, menjadikannya solusi komprehensif untuk pemantauan jarak jauh yang adaptif dan responsif.

Penelitian-penelitian tersebut menjadi landasan penting dalam mengembangkan sistem pengawasan berbasis ESP32-CAM, namun belum banyak yang mengintegrasikan semua fitur mobilitas, kontrol *real-time*, pengawasan visual, serta efisiensi biaya dalam satu sistem terpadu dengan fokus pada fleksibilitas penggunaan di berbagai skenario lapangan.

*State of the art* sistem pengawasan bergerak saat ini menekankan pada:

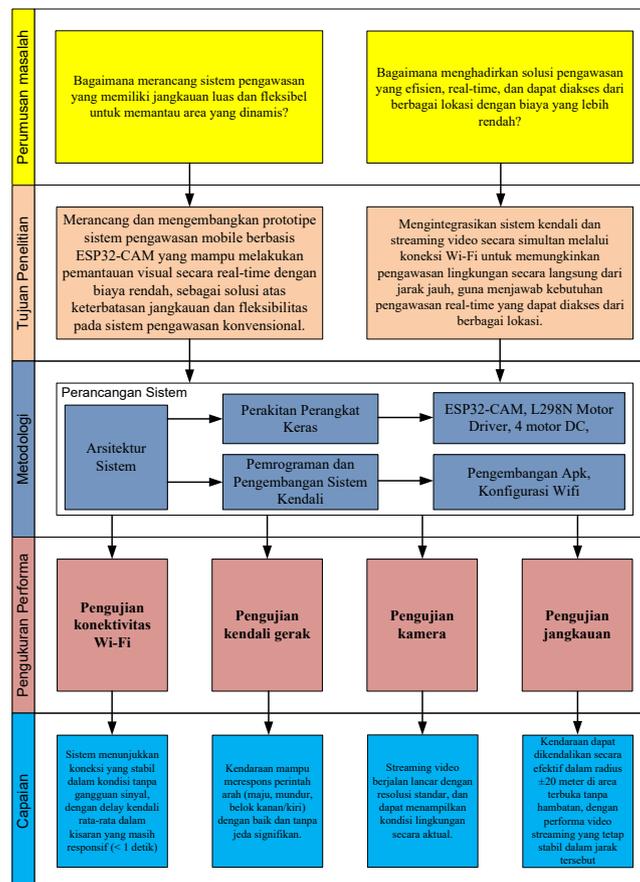
1. *Real-time streaming* menggunakan koneksi Wi-Fi.
2. Kontrol jarak jauh berbasis browser atau aplikasi.
3. Fleksibilitas mobilitas kendaraan untuk mendeteksi di lokasi tidak terjangkau.
4. Efisiensi biaya dan kemudahan perakitan melalui pemanfaatan perangkat *open-source*.
5. Skalabilitas untuk diintegrasikan dengan sistem keamanan yang lebih luas.

### 3. Metodologi

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen rekayasa perangkat keras dan perangkat lunak dalam merancang dan membangun sistem mobil pengawasan cerdas berbasis ESP32-CAM. Tujuan utama dari metodologi ini adalah menghasilkan prototipe kendaraan yang dapat dikendalikan secara *real-time* melalui koneksi Wi-Fi serta mampu mengirimkan video streaming dari kamera untuk keperluan pengawasan jarak jauh.

Gambar 1 merupakan Kerangka kerja penelitian ini disusun untuk merancang dan mengembangkan sistem pengawasan mobile berbasis ESP32-CAM yang mampu melakukan pemantauan visual secara *real-time* dengan biaya rendah. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kebutuhan akan sistem pengawasan yang memiliki jangkauan luas, fleksibel, dan efisien dalam

memantau area-area dinamis yang sulit dijangkau oleh sistem pengawasan konvensional. Selain itu, sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi pengawasan *real-time* yang dapat diakses dari berbagai lokasi dengan memanfaatkan koneksi Wi-Fi, sehingga tetap hemat biaya namun tetap efektif.



Gambar 1. Kerangka Kerja Penelitian Pengawas Real Time

Sebelum merancang sistem secara teknis, terlebih dahulu dilakukan analisis kebutuhan sistem untuk menentukan fitur-fitur fungsional yang harus dimiliki oleh sistem pengawasan berbasis ESP32-CAM ini. Kebutuhan sistem yang didefinisikan meliputi: (1) kemampuan pengambilan dan pengiriman video secara *real-time* dari ESP32-CAM ke perangkat pengguna; (2) sistem pengendali kendaraan jarak jauh untuk pergerakan maju, mundur, belok kanan, dan kiri secara responsif; (3) konektivitas nirkabel berbasis Wi-Fi yang stabil dan efisien; serta (4) antarmuka aplikasi Android yang mampu mengintegrasikan kendali dan tampilan video secara simultan. Fitur-fitur ini menjadi dasar dalam perancangan sistem dan sekaligus menjadi komponen utama yang akan diuji dalam pengujian fungsionalitas sistem secara terintegrasi pada akhir penelitian, guna memastikan bahwa setiap elemen sistem berjalan sesuai kebutuhan dan berfungsi dengan baik dalam satu kesatuan.

Untuk memastikan sistem bekerja secara optimal, dilakukan serangkaian pengujian performa. Pengujian pertama adalah konektivitas Wi-Fi, yang menunjukkan bahwa sistem memiliki koneksi yang stabil dengan *delay* kendali kurang dari 1 detik. Pengujian kedua adalah kendali gerak kendaraan, yang menunjukkan bahwa sistem mampu merespons perintah arah (maju, mundur, belok kanan/kiri) secara akurat tanpa jeda yang mengganggu. Pengujian selanjutnya adalah kualitas kamera, di mana hasil *streaming* video dapat berjalan lancar dengan resolusi standar dan mampu menampilkan kondisi lingkungan secara aktual. Terakhir, pengujian jangkauan membuktikan bahwa kendaraan dapat dikendalikan secara efektif dalam radius  $\pm 20$  meter di area terbuka, dengan performa video yang tetap stabil dalam jarak tersebut.



Gambar 2. Desain Arsitektur Sistem Pengawas *Real Time*

Gambar 2 merupakan Desain arsitektur sistem yang ditampilkan pada *diagram* menggambarkan hubungan komunikasi antara tiga komponen utama, yaitu Mobil Pengawas, Jaringan Wi-Fi, dan *Smartphone*. Sistem ini menerapkan arsitektur komunikasi dua arah berbasis jaringan lokal nirkabel (Wi-Fi) untuk mendukung fungsi kendali dan pemantauan secara *real-time*.

1) Mobil Pengawas

Komponen ini merupakan unit robotik mobile yang dilengkapi dengan ESP32-CAM untuk pengambilan gambar atau video dan modul motor L298N untuk penggerak. Mobil ini bertugas sebagai alat pemantau yang dapat bergerak ke berbagai arah dan mengirimkan hasil visual secara langsung ke *smartphone* pengguna.

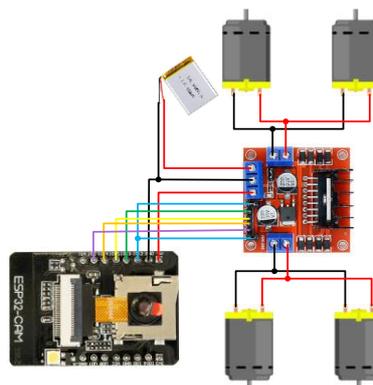
2) Jaringan Wi-Fi

Jaringan Wi-Fi berperan sebagai media komunikasi nirkabel antara mobil pengawas dan *smartphone*. ESP32-CAM pada mobil berfungsi sebagai *access point* (AP) atau terhubung ke router Wi-Fi yang sama dengan *smartphone* pengguna. Jalur komunikasi dua arah terbentuk di sini perintah kendali dikirim dari *smartphone* ke mobil pengawas, sedangkan data video atau umpan kamera dikirim dari mobil pengawas ke *smartphone*.

3) *Smartphone*

*Smartphone* bertindak sebagai antarmuka pengguna (*user interface*) yang digunakan untuk mengendalikan mobil pengawas dan menerima tampilan visual secara *real-time*. Melalui aplikasi yang terinstal di dalamnya, pengguna dapat mengatur arah gerak (maju, mundur, belok), serta melihat tampilan kamera secara langsung.

Arah panah hitam menunjukkan aliran data utama: dari kamera ke *smartphone* (*visual*), dan dari *smartphone* ke mobil (kendali). Arah panah ungu menggambarkan bahwa komunikasi terjadi secara dua arah melalui jaringan Wi-Fi, memungkinkan sistem untuk menjalankan fungsi pemantauan dan kendali secara simultan.



Gambar 3. Diagram Mobil Pengawas *Real Time*

Gambar 3 menunjukkan skema rangkaian koneksi antara ESP32-CAM, *driver* motor L298N, empat motor DC, dan sumber daya baterai Li-Po, yang digunakan dalam sistem mobil pengawas berbasis ESP32-CAM.

1) ESP32-CAM

Modul ini berfungsi sebagai otak utama dari sistem, yang menjalankan program kendali motor sekaligus melakukan *streaming* video melalui koneksi Wi-Fi. Modul menerima perintah dari *smartphone* dan mengatur arah gerakan motor melalui pin-pin GPIO yang terhubung ke *driver* L298N.

## 2) L298N Motor Driver

*Driver* ini mengatur arah dan kecepatan putaran motor DC. Terdapat dua channel (A dan B), masing-masing dapat mengendalikan dua motor. Dalam skema ini, keempat motor (dua di depan dan dua di belakang) dikendalikan sebagai dua pasang motor kiri dan kanan.

## 3) Motor DC

Empat motor DC digunakan sebagai penggerak mobil. Motor kiri dan kanan bergerak berdasarkan logika masukan dari pin IN1-IN4 yang dikendalikan oleh ESP32-CAM.

## 4) Baterai Li-Po

Baterai berfungsi sebagai sumber daya utama, menyalurkan tegangan ke ESP32-CAM dan *driver* L298N untuk menggerakkan motor dan modul kontrol.

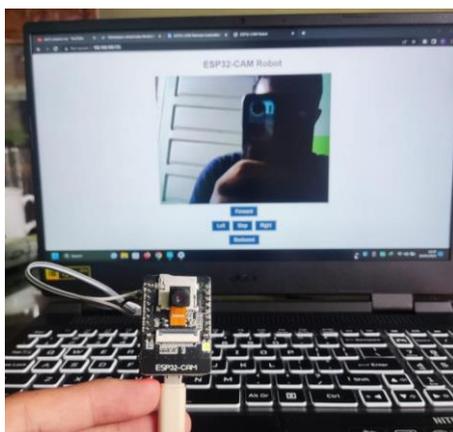
## 4. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini menyajikan hasil dari implementasi dan pengujian sistem pengawasan mobile berbasis ESP32-CAM yang telah dirancang, serta membahas performa sistem berdasarkan serangkaian uji coba yang dilakukan. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi aspek-aspek utama dari sistem, meliputi konektivitas Wi-Fi, kendali gerak kendaraan, kualitas video dari kamera, serta jangkauan operasional sistem. Hasil dari setiap pengujian dianalisis untuk mengetahui sejauh mana sistem mampu menjawab permasalahan dan memenuhi tujuan penelitian, khususnya dalam hal efisiensi, fleksibilitas, dan kemampuan pengawasan secara real-time dari jarak jauh. Pembahasan dalam bab ini diharapkan dapat memberikan gambaran menyeluruh terhadap kinerja sistem dan potensi pengembangannya ke depan.

### 4.1. Implementasi

Pada penelitian ini kamera ESP32-CAM diprogram menggunakan editor Arduino IDE dengan memilih jenis modul pada menu bar dengan menekan *Tool* kemudian memilih *AI Thinker ESP32* pada *Board*. Untuk memilih *library* kamera ESP32 yaitu pada menu bar dengan menekan *File*, kemudian menekan *example* akan membuka program kamera dari modul kamera Esp32 tersebut.

Setelah tampilan awal *library* kamera keluar, hubungkan *wireless* dengan *ssid* dan *password* yang sama dengan jaringan *wireless* pada perangkat. Setelah program di *upload* melalui serial monitor kita dapat mengetahui alamat halaman web dimana tampilan alamat web uji coba kamera ESP32-CAM seperti pada gambar 4.

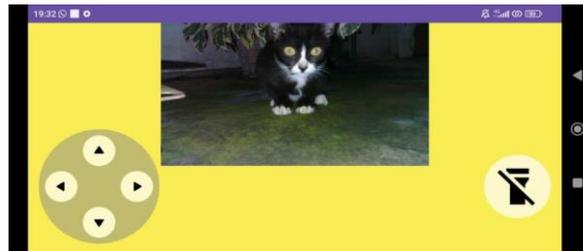


Gambar 4. Proses Konfigurasi ESP32-CAM

Gambar 5 merupakan hasil dari perakitan mobil RC Pengawas dengan komponen mikrokontroler ESP32-CAM dibuat tersambung dengan *Driver* L298N dan beberapa baterai terpisah, sehingga baterai yang digunakan oleh mikrokontroler Esp32 Cam dan modul *driver* L298N berbeda dimana baterai yang ada di *driver* l298n memiliki daya yang lebih besar sehingga kecepatan mobil remot *control* pun meningkat pesat di bandikan, baterai yang di gunakan pada ESP32-CAM, dimana data dari komponen-komponen tersebut akan diolah oleh mikrokontroler.



Gambar 5. Hasil Perakitam Mobil RC Pengawas *Real Time*



Gambar 6. Aplikasi Mobil RC Pengawas *Real Time*

Gambar 6 menampilkan *user interface* dari aplikasi Android yang dikembangkan menggunakan Android Studio dan berfungsi sebagai pengendali mobil RC pengawas berbasis ESP32-CAM. Aplikasi ini dirancang dengan tampilan yang sederhana namun fungsional, memungkinkan pengguna untuk mengendalikan arah gerak kendaraan serta memantau secara langsung tampilan video dari kamera secara *real-time*.

Di sisi kiri layar terdapat tombol navigasi berbentuk lingkaran yang terdiri atas lima arah: atas (maju), bawah (mundur), kiri, dan kanan. Tombol-tombol ini mengirimkan sinyal kontrol melalui jaringan Wi-Fi ke ESP32-CAM yang terhubung dengan motor *driver* untuk menggerakkan mobil sesuai perintah pengguna.

Tampilan utama menampilkan hasil *streaming* video langsung dari kamera ESP32-CAM yang terpasang pada mobil RC. *Streaming* ini memungkinkan pengguna untuk melihat kondisi lingkungan di sekitar mobil secara *real-time*, sehingga sangat berguna untuk keperluan pengawasan atau patroli di area yang sulit dijangkau.

Di sisi kanan layar terdapat ikon lampu atau *mute* yang kemungkinan berfungsi sebagai tombol pengaktif atau nonaktif lampu pencahayaan. Aplikasi ini bekerja secara mandiri dalam jaringan Wi-Fi lokal, tanpa memerlukan koneksi internet, sehingga lebih aman dan efisien dalam penggunaan.

#### 4.2. Pengujian

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem pengawasan *mobile* berbasis ESP32-CAM yang dirancang dapat bekerja secara optimal sesuai dengan tujuan penelitian. Tahapan pengujian bertujuan untuk mengevaluasi kinerja dari seluruh komponen sistem, mulai dari konektivitas jaringan Wi-Fi, kemampuan kendali gerak motor, keandalan *streaming* kamera secara *real-time*, hingga jangkauan operasi sistem dalam kondisi nyata.

Pengujian dilakukan secara berulang sebanyak 10 kali untuk masing-masing skenario guna memperoleh data yang *representatif* dan akurat. Beberapa parameter yang diuji antara lain pengujian konektivitas Wi-Fi, pengujian kendali gerak motor, Pengujian Kamera *Streaming*, Pengujian Jangkauan Kendali dan *Streaming*.

Setiap pengujian dianalisis berdasarkan hasil pengamatan langsung serta pencatatan data selama proses berlangsung. Hasil pengujian ini menjadi tolok ukur utama untuk menilai kelayakan sistem sebagai solusi pengawasan visual yang fleksibel, efisien, dan dapat diakses dari jarak jauh dengan biaya rendah.

Tabel 1. Pengujian Konektivitas Wi-Fi

Uji ke-	Status Koneksi	Delay (detik)	Stabilitas Jaringan
1	Terhubung	0.8	Stabil
2	Terhubung	0.7	Stabil
3	Terhubung	0.8	Stabil
4	Terhubung	1.2	Sedikit Fluktuasi
5	Terhubung	0.8	Stabil
6	Terhubung	0.8	Stabil
7	Terhubung	1	Stabil
8	Terhubung	1.1	Sedikit Fluktuasi
9	Terhubung	0.9	Stabil
10	Terhubung	0.7	Stabil
	Rata-rata	0.88	Mayoritas Stabil

Berdasarkan tabel 1, hasil pengujian konektivitas Wi-Fi sebanyak 10 kali, diperoleh hasil bahwa seluruh percobaan menunjukkan status koneksi yang terhubung, menandakan bahwa sistem memiliki kemampuan koneksi yang konsisten. Waktu *delay* rata-rata sebesar 0,88 detik, menunjukkan respon sistem yang relatif cepat dan masih dalam kategori responsif.

Sebagian besar pengujian menunjukkan koneksi yang stabil, kecuali pada pengujian ke-4 dan ke-8 yang mengalami sedikit fluktuasi, dengan *delay* masing-masing sebesar 1,2 detik dan 1,1 detik. Hal ini masih dapat ditoleransi karena tidak berdampak signifikan terhadap kinerja keseluruhan sistem.

Tabel 2. Pengujian Kendali Gerak Motor

Uji ke-	Arah Gerak Diuji	Respons (Detik)	Status Motor	Keterangan
1	Maju	0.4	Berfungsi	Lancar
2	Mundur	0.5	Berfungsi	Lancar
3	Kanan	0.6	Berfungsi	Lancar
4	Kiri	0.4	Berfungsi	Lancar
5	Maju	0.5	Berfungsi	Lancar
6	Mundur	0.6	Berfungsi	Lancar
7	Kanan	0.5	Berfungsi	Lancar
8	Kiri	0.4	Berfungsi	Lancar
9	Maju	0.5	Berfungsi	Lancar
10	Mundur	0.4	Berfungsi	Lancar
	Rata-rata	0.48	100% Berfungsi	Responsif

Tabel 2 merupakan pengujian kendali gerak motor dilakukan sebanyak 10 kali dengan variasi arah gerak mencakup maju, mundur, kanan, dan kiri. Hasil uji menunjukkan bahwa semua perintah arah dapat direspon dengan baik oleh sistem, dengan status motor selalu dalam kondisi berfungsi dan memberikan gerakan yang lancar tanpa adanya jeda atau hambatan.

Rata-rata waktu respons terhadap perintah gerak tercatat sebesar 0,48 detik, yang menandakan bahwa sistem mampu merespons input kendali dari pengguna secara responsif. Hal ini penting untuk memastikan bahwa kendaraan dapat dikendalikan secara *real-time* sesuai dengan instruksi dari aplikasi Android.

Tidak terdapat gangguan atau kesalahan dalam proses gerak selama pengujian, menunjukkan bahwa integrasi antara ESP32-CAM, *driver* motor L298N, dan motor DC bekerja secara optimal. Dengan demikian, sistem memiliki kinerja kendali gerak yang andal dan sesuai untuk kebutuhan pengawasan bergerak di area dinamis.

Tabel 3. Pengujian Kamera Streaming

Uji ke-	Status Gambar	Delay Video (Detik)	Kualitas Tampilan	Keterangan
1	Muncul	1	Jelas	Stabil
2	Muncul	1.1	Jelas	Stabil
3	Muncul	1.3	Jelas	Sedikit Lag
4	Muncul	0.9	Jelas	Lancar
5	Muncul	1	Jelas	Lancar

Uji ke-	Status Gambar	Delay Video (Detik)	Kualitas Tampilan	Keterangan
6	Muncul	1.1	Jelas	Lancar
7	Muncul	1.5	Sedikit Noise	Delay Ringan
8	Muncul	1	Jelas	Stabil
9	Muncul	0.9	Jelas	Lancar
10	Muncul	1.1	Jelas	Stabil
Rata-rata		1.09	Mayoritas Jelas	Streaming Efisien

Tabel 3 merupakan pengujian kamera streaming dilakukan sebanyak 10 kali untuk mengevaluasi kinerja modul ESP32-CAM dalam menampilkan video secara *real-time*. Hasil uji menunjukkan bahwa pada setiap percobaan, status gambar selalu muncul dengan kualitas tampilan yang mayoritas jelas dan dapat menggambarkan kondisi lingkungan secara aktual.

Rata-rata *delay* video yang tercatat adalah 1,09 detik, yang masih tergolong efisien dan dapat diterima untuk sistem pengawasan berbasis Wi-Fi. Sebagian besar sesi pengujian menghasilkan *streaming* yang stabil dan lancar, meskipun pada uji ke-3 dan ke-7 terdapat sedikit lag dan noise, namun tidak signifikan dan tidak mengganggu proses pemantauan secara umum.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan *streaming* video dengan performa yang baik, mendukung tujuan utama untuk menyediakan pengawasan visual secara *real-time* dari jarak jauh dengan kualitas tampilan yang memadai.

Tabel 4. Pengujian Jangkauan Kendali dan *Streaming*

Uji ke-	Jarak (meter)	Status Kendali	Status Video	Kualitas Sinyal	Keterangan
1	5	Stabil	Stabil	Kuat	Kendali dan video lancar
2	10	Stabil	Stabil	Kuat	Tidak ada kendala
3	15	Stabil	Stabil	Sedikit menurun	Masih responsif
4	20	Stabil	Stabil	Sedang	Delay sedikit pada video
5	25	Stabil	Sedikit delay	Sedang	Kontrol masih responsif
6	30	Stabil	Sedikit delay	Mulai lemah	Video buffering ringan
7	35	Tidak Stabil	Tidak stabil	Lemah	Kendali putus-putus
8	40	Tidak Stabil	Tidak stabil	Lemah	Video sering terputus
9	45	Tidak Stabil	Tidak tampil	Sangat lemah	Sering disconnect
10	50	Terputus	Terputus	Tidak ada sinyal	Di luar jangkauan efektif

Tabel 4 merupakan hasil pengujian Jangkauan Kendali dan *Streaming* yang telah dilakukan sebanyak 10 kali, dengan fokus pada kestabilan kendali, kualitas video, dan kekuatan sinyal berdasarkan jarak maka didapat:

1) Jarak 5-15 meter

Pada rentang jarak ini, baik kendali maupun video *streaming* menunjukkan performa yang sangat baik. Kontrol mobil responsif dan video dari kamera ESP32-CAM tampil dengan lancar tanpa jeda. Kualitas sinyal kuat, menunjukkan bahwa sistem bekerja optimal pada jarak dekat hingga sedang.

2) Jarak 20-30 meter

Di jarak ini, meskipun sistem masih dapat berfungsi, mulai terjadi penurunan performa. Kendali masih cukup stabil, namun kualitas video menunjukkan gejala sedikit delay atau *buffering*, terutama saat mencapai 30 meter. Kualitas sinyal menurun ke tingkat sedang, yang wajar pada penggunaan modul ESP32-CAM berbasis Wi-Fi.

3) Jarak 35-40 meter

Kendali dan video menjadi tidak stabil. Respon perintah gerakan mobil mulai tertunda, dan video dari kamera mengalami putus-putus. Kualitas sinyal menurun drastis, sehingga koneksi sering terganggu. Hal ini menunjukkan batas toleransi operasional mulai terlampaui.

## 4) Jarak 45-50 meter

Sistem tidak dapat digunakan secara efektif. Kendali sering terputus dan video tidak bisa ditampilkan. Pada jarak ini, sinyal Wi-Fi tidak lagi mampu menjangkau ESP32-CAM dengan andal. Koneksi drop menjadi kendala utama.

Selain melakukan pengujian terhadap masing-masing subsistem secara terpisah, penelitian ini juga melakukan pengujian sistem secara terintegrasi (*integrated system testing*) yang didasarkan pada hasil analisis kebutuhan fungsionalitas pada Bab 3. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh fitur utama, yaitu: (1) kemampuan video *streaming real-time* dari ESP32-CAM; (2) sistem pengendali kendaraan jarak jauh (maju, mundur, kanan, kiri); (3) konektivitas Wi-Fi yang stabil; dan (4) antarmuka aplikasi Android yang mengintegrasikan kendali dan tampilan video agar dapat berfungsi secara bersamaan dalam satu sistem yang utuh dan berjalan dengan baik dalam skenario nyata.

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 5, dapat disimpulkan bahwa seluruh kebutuhan fungsional utama dari sistem pengawasan mobile berbasis ESP32-CAM telah berhasil dipenuhi dan diuji secara terintegrasi.

- 1) Fitur video *streaming real-time* dari ESP32-CAM ke *smartphone* menunjukkan performa yang baik, dengan gambar yang tampil jelas dan delay rata-rata 1.09 detik. Nilai ini masih berada dalam batas toleransi untuk sistem pengawasan, sehingga tidak mengganggu efektivitas pemantauan secara visual. Hasil ini menandakan bahwa sistem mampu menyediakan umpan video secara langsung dengan kualitas yang dapat diterima dalam konteks pengawasan lapangan.
- 2) Fitur kendali kendaraan secara responsif melalui aplikasi Android juga menunjukkan performa optimal. Dengan rata-rata waktu respons sebesar 0.48 detik, sistem mampu merespons perintah arah seperti maju, mundur, belok kanan, dan kiri tanpa hambatan. Ini mengindikasikan bahwa komunikasi antara antarmuka pengguna dan aktuator motor berjalan efisien dan tanpa latensi yang mengganggu, sehingga mendukung kelincuhan mobil pengawas saat beroperasi.
- 3) Dari sisi konektivitas jaringan, sistem menunjukkan kestabilan Wi-Fi yang baik dalam jangkauan operasional hingga 30 meter. Meski performa mulai menurun di atas jarak tersebut, sistem masih mampu mempertahankan koneksi pada kisaran 35-40 Meter dengan degradasi minimal. Sementara pada jarak 45-50 Meter koneksi menjadi tidak stabil, hal ini masih sesuai dengan batas kemampuan modul ESP32-CAM yang memang dirancang untuk penggunaan lokal dalam jarak pendek hingga menengah.
- 4) Sistem berhasil menjalankan fungsi integrasi antara kontrol kendaraan dan video *streaming* secara simultan melalui satu aplikasi Android. Tidak ditemukan konflik antar fitur saat dijalankan bersamaan. Aplikasi berjalan stabil, dan pengguna dapat memantau video sambil mengendalikan kendaraan secara *real-time* tanpa hambatan. Hal ini membuktikan bahwa sistem telah memenuhi seluruh elemen desain yang dirancang pada tahap awal, serta berhasil melewati pengujian sebagai sistem utuh yang siap digunakan.

Tabel 5. Pengujian Fungsionalitas Sistem Secara Terintegrasi

No	Kebutuhan Fungsional Sistem	Status Pengujian	Keterangan
1	Video <i>streaming real-time</i> dari ESP32-CAM ke <i>smartphone</i> pengguna	Berfungsi	Gambar tampil jelas, <i>delay</i> rata-rata 1.09 detik, masih dalam batas wajar dan tidak mengganggu fungsi pemantauan
2	Kendali kendaraan secara responsif (maju, mundur, belok kiri, belok kanan) melalui aplikasi	Berfungsi	Respons rata-rata 0.48 detik; kendaraan merespons arah dengan baik tanpa hambatan atau keterlambatan
3	Konektivitas Wi-Fi stabil dalam jangkauan operasional	Berfungsi	Stabil hingga 30 Meter; pada 35-40 Meter mulai melemah; 45-50 Meter tidak stabil; jangkauan optimal sistem telah dicapai
4	Integrasi antara kontrol kendaraan dan video <i>streaming</i> melalui antarmuka aplikasi Android	Berfungsi	Tidak ada konflik; kontrol dan <i>streaming</i> dapat berjalan simultan secara real-time, aplikasi berjalan stabil di semua uji coba

Secara keseluruhan, hasil pengujian ini menegaskan bahwa sistem yang dikembangkan tidak hanya berhasil secara teknis di level subsistem, tetapi juga secara

integratif, menunjukkan kesiapan untuk diterapkan dalam skenario riil dengan kebutuhan pengawasan fleksibel, *portabel*, dan efisien.

### 4.3. Pembahasan

Hasil pengujian terhadap sistem pengawasan mobile berbasis ESP32-CAM menunjukkan bahwa seluruh fitur fungsional yang dirancang dalam penelitian ini telah bekerja dengan baik secara terpisah maupun terintegrasi. Keempat fitur utama yaitu video *streaming real-time*, kendali kendaraan responsif, konektivitas Wi-Fi yang stabil, dan integrasi kontrol dengan tampilan visual melalui aplikasi Android dan berhasil diimplementasikan secara fungsional dan menunjukkan performa yang layak untuk digunakan di lapangan.

Temuan ini secara langsung menjawab masalah utama yang telah diidentifikasi dalam pendahuluan, yaitu keterbatasan sistem pengawasan konvensional yang bersifat statis, tidak fleksibel, mahal dalam instalasi, dan tidak mampu menjangkau area dinamis atau berisiko tinggi. Dengan keberhasilan implementasi sistem mobil pengawas berbasis ESP32-CAM ini, dapat disimpulkan bahwa solusi yang ditawarkan mampu memberikan pendekatan alternatif yang lebih fleksibel, hemat biaya, dan adaptif terhadap kebutuhan pengawasan modern. Sistem ini memungkinkan pengguna untuk mengakses dan mengendalikan kendaraan pengawas dari jarak jauh melalui jaringan Wi-Fi, sembari menerima tampilan visual secara langsung, sehingga mampu memantau area yang sulit dijangkau tanpa kehadiran fisik.

Dari sisi kontribusi terhadap penelitian terdahulu, penelitian ini memperkuat dan memperluas hasil-hasil yang telah diperoleh oleh sejumlah studi sebelumnya. Sebagai contoh, penelitian oleh Dzulqarnain [16] dan Mahdali et al. [17] menunjukkan efektivitas penggunaan ESP32-CAM dalam sistem robot pengintai berbasis web, tetapi belum mengintegrasikan kendali gerak secara simultan dengan tampilan video *real-time* dalam satu antarmuka. Penelitian oleh Fandidarma et al. [18] memang telah menggunakan ESP32-CAM pada mobil RC untuk keperluan pemantauan, namun belum menekankan aspek uji performa sistem secara terintegrasi dan fungsional. Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan membuktikan bahwa penggabungan semua fitur utama dapat dioperasikan secara bersamaan dengan stabil dan responsif.

Selain itu, pendekatan sistem berbasis komponen *open-source* seperti ESP32-CAM, L298N, dan Android apps memperkuat argumentasi dari penelitian oleh Sawant et al. [21], yang menekankan pentingnya keterjangkauan dan kemudahan replikasi dalam pengembangan sistem *surveillance* berbasis IoT. Dengan menguji performa sistem secara menyeluruh, serta menyajikan pengukuran *delay*, respons, dan stabilitas sinyal, penelitian ini turut memberikan data empiris yang dapat digunakan sebagai referensi dalam pengembangan sistem pengawasan *real-time* berbasis IoT di masa mendatang.

Secara konseptual dan praktis, temuan penelitian ini memperkuat gagasan bahwa ESP32-CAM memiliki potensi tinggi sebagai solusi pengawasan cerdas berbasis *mobile* yang dapat disesuaikan dengan berbagai kebutuhan, baik dalam konteks keamanan, mitigasi bencana, maupun pemantauan lingkungan industri dan publik. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menawarkan solusi teknis yang aplikatif, tetapi juga memperkaya kajian ilmiah terkait pengembangan sistem *surveillance* berbasis IoT, khususnya dalam hal integrasi fungsional dan evaluasi performa secara utuh.

### 5. Simpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem mobil pengawasan berbasis ESP32-CAM yang mampu melakukan pemantauan visual secara *real-time* dengan biaya rendah. Sistem ini mengintegrasikan kendali kendaraan melalui aplikasi Android dan *streaming* video melalui koneksi Wi-Fi, menghasilkan solusi yang efisien, responsif, dan fleksibel untuk kebutuhan pengawasan di area yang sulit dijangkau. Hasil pengujian menunjukkan performa yang andal, baik dari sisi kestabilan konektivitas, respons kendali motor, kualitas *streaming* video, hingga jangkauan operasional hingga 30 Meter secara efektif.

Sistem ini terbukti dapat menjadi alternatif pengawasan modern yang mengatasi keterbatasan sistem statis konvensional, dengan dukungan komponen *open-source* yang mudah diakses dan diaplikasikan. Selain itu, penerapan arsitektur komunikasi dua arah berbasis jaringan lokal menjadikan sistem ini aman dan independen dari koneksi internet.

Untuk pengembangan lebih lanjut, terdapat beberapa arah riset potensial yang dapat dilakukan guna meningkatkan kapabilitas dan daya guna sistem pengawasan berbasis ESP32-

CAM. Pertama, penerapan *Edge AI (Artificial Intelligence on Edge)* menjadi langkah strategis, yaitu dengan menambahkan modul pemrosesan lokal yang memungkinkan sistem mendeteksi objek secara *real-time* menggunakan algoritma ringan seperti *MobileNet* atau *YOLO-tiny*. Hal ini akan sangat bermanfaat dalam meningkatkan fungsi sistem dalam konteks keamanan maupun pemantauan lingkungan. Kedua, integrasi dengan GPS dan sensor tambahan seperti sensor suhu, gas, atau kelembaban dapat memperluas cakupan aplikasi sistem, menjadikannya relevan untuk digunakan dalam pemantauan bencana, misi pencarian dan penyelamatan, atau kegiatan *surveilans* di area industri. Ketiga, optimisasi jangkauan dan konektivitas juga menjadi fokus penting, dengan pemanfaatan teknologi komunikasi jarak jauh seperti LoRa atau Wi-Fi mesh untuk meningkatkan jangkauan operasional sistem melebihi 30 Meter tanpa mengorbankan kestabilan koneksi. Terakhir, dibutuhkan pengembangan desain sistem modular dan tahan cuaca, dengan membangun perangkat keras yang lebih kokoh serta tahan terhadap kondisi lingkungan ekstrem, sehingga sistem dapat digunakan dalam berbagai skenario lapangan dan lingkungan yang menantang.

#### Daftar Referensi

- [1] M. A. Sufiyan, P. K. M, S. P. Sarma, and D. S. B. Choubey, "Vehicle Surveillance System using ESP32," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 6, pp. 3722–3725, 2021, [Online]. Available: <https://www.ijraset.com/files/serve.php?FID=35763>.
- [2] R. Vijeikis, V. Raudonis, and G. Dervinis, "Efficient Violence Detection in Surveillance," *Sensors*, vol. 22, no. 6, p. 2216, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/s22062216>.
- [3] P. Oborski, "Developments in integration of advanced monitoring systems," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 75, pp. 1613–1632, 2014, doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6123-x>.
- [4] M. K. Geldenhuys, J. Will, B. J. J. Pfister, M. Haug, A. Scharmann, and L. Thamsen, "Dependable IoT Data Stream Processing for Monitoring and Control of Urban Infrastructures," in *Proceedings - 2021 IEEE International Conference on Cloud Engineering, IC2E 2021*, 2021, pp. 244–250, doi: [10.1109/IC2E52221.2021.00041](https://doi.org/10.1109/IC2E52221.2021.00041).
- [5] M. Vokáč, L. Balík, and P. Boušek, "Monitoring of Historical Structure by IoT Technology with Use of ESP32 Development Board," *Key Eng. Mater.*, vol. 868, pp. 180–188, 2020, doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.868.180>.
- [6] M. Babiuch and J. Postulka, "Smart Home Monitoring System Using ESP32 Microcontrollers," in *book-Internet of Things*, 6th ed., F. P. G. Márquez, Ed. Rijeka: IntechOpen, 2020.
- [7] G. L. Foresti, C. Micheloni, C. Piciarelli, and L. Snidaro, "Visual Sensor Technology for Advanced Surveillance Systems: Historical View, Technological Aspects and Research Activities in Italy," *Sensors*, vol. 9, no. 4, pp. 2252–2270, 2009, doi: <https://doi.org/10.3390/s90402252>.
- [8] P. Teixidó *et al.*, "Secured Perimeter with Electromagnetic Detection and Tracking with Drone Embedded and Static Cameras," *Sensors*, vol. 21, no. 21, p. 7379, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/s21217379>.
- [9] N. Arafah, "Rancang Bangun Mobil Remote Control dengan Smartphone Android Menggunakan Sensor HC-SR04 Berbasis Atmega328," in *Skripsi*, 2021, p. 103, [Online]. Available: <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/31008>.
- [10] K. Ingale, O. Tekade, P. Thakare, A. Wankhade, and P. Wankhade, "An Advanced Surveillance Motorized Car for Real-Time Inspection with Sensing Capabilities," in *Proceedings-Intelligent Control, Robotics, and Industrial Automation*, 2024, pp. 263–279, doi: [http://dx.doi.org/10.1007/978-981-97-4650-7\\_20](http://dx.doi.org/10.1007/978-981-97-4650-7_20).
- [11] R. Che, L. Wang, Y. Wang, and Q. Lin, "Research on Intelligent Video Surveillance System in Remote Area Based on NB-IoT," in *ACAI '19: Proceedings of the 2019 2nd International Conference on Algorithms, Computing and Artificial Intelligence*, 2019, pp. 255–259, doi: <https://doi.org/10.1145/3377713.3377750>.
- [12] K. Okokpuije, I. P. Okokpuije, F. T. Young, and R. E. Suba, "Development of an Affordable Real-Time IoT-Based Surveillance System Using ESP32 and TWILIO API," *Int. J. Saf. Secur. Eng.*, vol. 13, no. 6, pp. 1069–1075, 2023, doi: <https://doi.org/10.18280/ijss.130609>.
- [13] H. Dietz *et al.*, "ESP32-CAM as a programmable camera research platform," *Electron. Imaging*, vol. 34, pp. 232-1-232–6, 2022, doi: <https://doi.org/10.2352/EI.2022.34.7.ISS-232>.

- [14] P. D. P. Adi, "Performance evaluation of ESP32 Camera Face Recognition for various projects," *Internet Things Artif. Intell. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 11–21, 2022, doi: <https://doi.org/10.31763/iota.v2i1.512>.
- [15] S. Vinod, P. Shakor, and M. Karakouzian, "Object Detection Using ESP32 Cameras for Quality Control of Steel Components in Manufacturing Structures," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 48, pp. 12741–12758, 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s13369-022-07562-2>.
- [16] M. F. Dzulkarnain, "Rancang Bangun Aplikasi Mobil Remote Control Pemantau Berbasis Android Pada Mikrokontroler Arduino," *JUSTIN (Jurnal Sist. dan Teknol. Informasi)*, vol. 3, no. 3, 2015, doi: <https://doi.org/10.26418/justin.v3i3.11506>.
- [17] A. Mahdali, Lutfi, and R. D. M. Sedik, "Pengembangan Wireless Remotely Operated Vehicle Berbasis Web," in *Seminar Nasional Teknologi Industri IX 2022*, 2022, pp. 23–26, [Online]. Available: <https://atim.ac.id/seminar-nasional-teknologi-industri-snti-ix-2022/>.
- [18] B. Fandidarma, R. D. Laksono, and K. W. B. Pamungkas, "Rancang Bangun Mobil Remote Control Pemantau Area berbasis IoT menggunakan ESP 32 Cam," *J. ELECTRA Electr. Eng. Artic.*, vol. 2, no. 1, pp. 31–38, 2021, [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/reader/42a5e8c3f71ff4c0dde63c7b3e74648ab5945c7b>.
- [19] M. M. R. Meem, P. S. Chowhan, F. A. Mim, and M. T. Ahmed, "Artificially Intelligent Surveillance and Security Sentinel for Technologically Enhanced and Protected Communities," *Int. J. Eng. Manuf.*, vol. 4, pp. 15–25, 2024, doi: DOI: 10.5815/ijem.2024.04.02.
- [20] N. S. Uttam, R. P. Bapu, S. K. Baburao, and S. I. Nipanikar, "Smart Surveillance System Using ESP32," *Microelectron. Digit. Integr. Circuits*, vol. 10, no. 1, pp. 1–9, 2024, [Online]. Available: <https://journalspub.com/wp-content/uploads/2024/07/1-9-SMART-SURVEILLANCE-SYSTEM-USING-ESP32-3.pdf>.
- [21] G. S. Sawant, P. C. Jadhav, and R. V. Prajapati, "Long Distance Surveillance Robot Using lot Blynk," *Mukt Shabd J.*, vol. XII, no. V, pp. 496–499, 2022, doi: 10.0014.MSJ.2023.V12I05.0086781.1143551.