

Template dan Pedoman Penulisan Artikel PROGRESIF - 2022.doc

by Zulhipni Reno Saputra

Submission date: 02-May-2025 04:00PM (UTC+0000)

Submission ID: 2595445025

File name: Template_dan_Pedoman_Penulisan_Artikel_PROGRESIF_-_2022.doc (19.03M)

Word count: 4611

Character count: 30128

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

Zulhipni Reno Saputra Elsi^{1*}, Fajrie Agus Dwino Putra², Hartini³, Sri Primaini Agustanti³

¹Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Palembang, Jalan Jenderal Ahmad Yani
Palembang, Indonesia

² UPDL Palembang, PT PLN, Jalan Sekip Bendung Palembang, Indonesia

³Teknik Komputer, Universitas Siguntang Mahaputra, Jalan Perintis Kemerdekaan Palembang,
Indonesia

zulhipni_renosaputra@um-palembang.ac.id, fajrie.agus@pln.co.id, arpi.hartini.my@gmail.com,
sri.primaini@gmail.com

*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 mendorong lahirnya berbagai solusi inovatif dalam pengawasan, pemantauan jarak jauh dan real time, khususnya dalam bidang keamanan, industri, dan pemantauan lingkungan [1][2]. Teknologi Internet of Things (IoT) telah membuka peluang besar untuk mengembangkan perangkat cerdas yang mampu

melakukan pengawasan secara otomatis dan terintegrasi [3][4]. Salah satu perangkat yang semakin populer dalam implementasi IoT adalah ESP32-CAM, sebuah modul mikrokontroler murah dan hemat daya yang dilengkapi dengan kamera dan konektivitas Wi-Fi [5][6]. Modul ini memungkinkan transmisi data visual secara real-time, sehingga sangat potensial untuk digunakan dalam sistem pengawasan cerdas dan terintegrasi.

Sistem pengawasan konvensional yang mengandalkan kamera tetap memiliki beberapa keterbatasan, antara lain jangkauan pengawasan yang terbatas, kurangnya fleksibilitas dalam menjangkau area yang berubah-ubah, serta biaya instalasi dan perawatan yang relatif tinggi [7][8]. Selain itu, kebutuhan akan inspeksi yang bersifat real-time dan dapat diakses dari lokasi yang berbeda semakin menuntut hadirnya solusi mobilitas dalam sistem pengawasan.

Dalam konteks pengawasan lapangan, penggunaan sistem kamera statis seringkali tidak mencukupi, terutama ketika diperlukan mobilitas dan fleksibilitas tinggi dalam melakukan inspeksi di area yang luas atau sulit dijangkau [2][9][10][11]. Oleh karena itu, pengembangan sistem mobil pengawasan yang dilengkapi dengan ESP32-CAM menjadi solusi alternatif yang efisien dan terjangkau. Sistem ini memungkinkan pengawasan dinamis dengan kemampuan streaming video secara langsung melalui jaringan nirkabel, sekaligus memungkinkan kontrol kendaraan dari jarak jauh [12][13]. Tren terkini menunjukkan bahwa sistem surveillance tidak lagi bergantung pada kamera statis, melainkan memanfaatkan kendaraan mobile dengan kendali jarak jauh untuk menjangkau area-area yang sulit dijangkau manusia.

Dalam pengembangannya, integrasi ESP32-CAM dengan driver motor seperti L298N dan kontrol berbasis web atau aplikasi Android menjadi metode yang banyak diadopsi. Teknologi WebSocket dan HTTP streaming juga mulai digunakan untuk meningkatkan latensi rendah dalam komunikasi dua arah. Selain itu, penelitian juga mulai mengarah ke pemanfaatan kecerdasan buatan dan edge computing untuk deteksi objek atau aktivitas langsung di lokasi.

Penelitian ini memberikan kontribusi dalam beberapa aspek penting untuk meningkatkan pengawasan, pemantauan jarak jauh secara real time:

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 [14] 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.

Peneliti Muhammad Faqih Dzulqarnain (2021) mengusulkan pengembangan RC Car berbasis Arduino dengan sistem kendali ganda: Bluetooth untuk kendali gerak dan Wi-Fi untuk kendali kamera. Penelitian ini menunjukkan pentingnya fleksibilitas koneksi dan integrasi IP Camera untuk fungsi pengawasan. Namun, keterbatasan jarak pada koneksi Bluetooth dan pemisahan sistem komunikasi masih menjadi hambatan.

Penelitian oleh [15] 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.

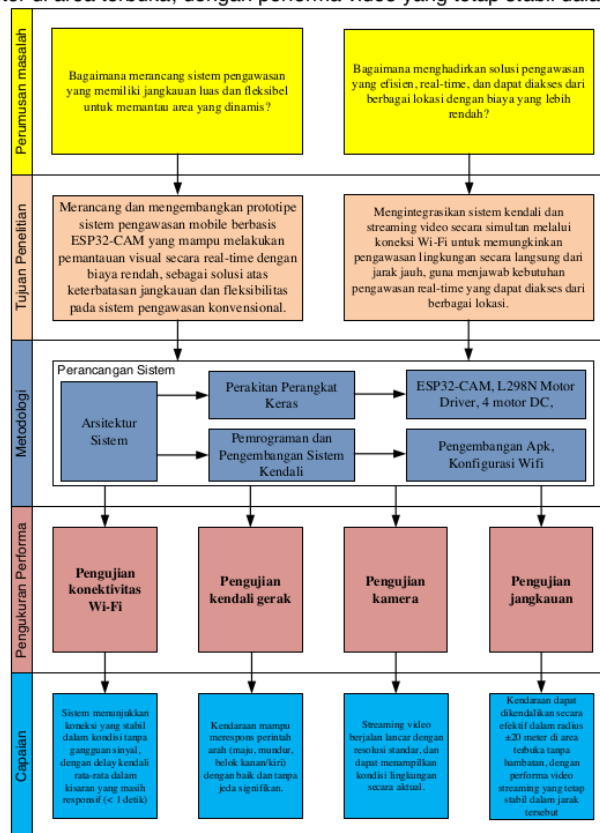
3. Metodologi

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.

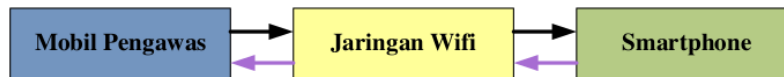
Gambar 1 merupakan Kerangka kerja penelitian ini disusun untuk merancang dan mengembangkan sistem pengawasan mobile berbasis ESP32-CAM yang mampu melakukan pemantauan visual secara real-time dengan biaya rendah. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kebutuhan akan sistem pengawasan yang memiliki jangkauan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

Metodologi penelitian dimulai dengan tahap perancangan sistem yang mencakup perencanaan arsitektur sistem secara keseluruhan. Tahapan ini kemudian dilanjutkan dengan proses perakitan perangkat keras, di mana komponen utama seperti ESP32-CAM, motor driver L298N, dan empat motor DC disusun dan dirangkai menjadi satu kesatuan sistem kendaraan pengintai. Setelah perangkat keras dirakit, tahap berikutnya adalah pemrograman dan pengembangan sistem kendali. Pada tahap ini dilakukan pemrograman mikrokontroler untuk mengontrol gerakan kendaraan serta mengatur fungsi kamera, serta pengembangan aplikasi Android sebagai pengendali utama sistem yang juga terintegrasi dengan konfigurasi Wi-Fi untuk mengaktifkan fungsi pengawasan jarak jauh secara real-time.

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 ± 20 meter di area terbuka, dengan performa video yang tetap stabil dalam jarak tersebut.



Gambar 1. Kerangka Kerja Penelitian Pengawas Real Time



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 (seperti L298N) untuk penggerak. Mobil ini bertugas sebagai alat pemantau yang dapat bergerak ke berbagai arah dan mengirimkan hasil visual secara langsung ke smartphone pengguna.

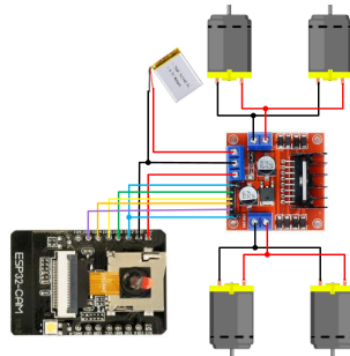
2. Jaringan Wi-Fi

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.

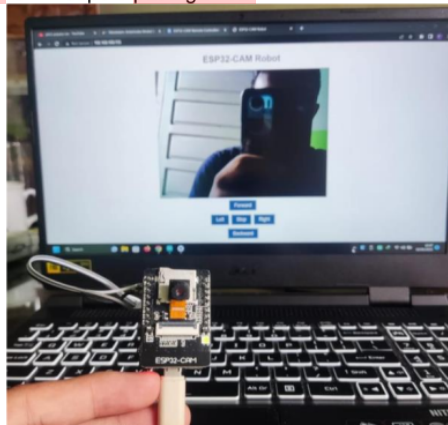
4. Hasil dan Pembahasan

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.

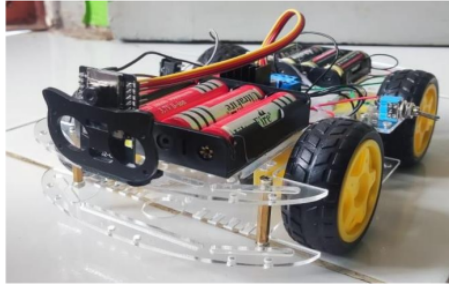
4.1. Implementasi

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.

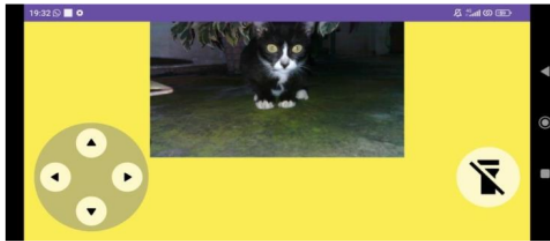


Gambar 4. Proses Konfigurasi ESP32-CAM



Gambar 5. Hasil Perakitam Mobil RC Pengawas Real Time

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 controlpun meningkat pesat di bandikan, baterai yang di gunakan pada ESP32-CAM, dimana data dari komponen-komponen tersebut akan diolah oleh mikrokontroler.



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
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.

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," 2021, doi: [10.1109/IC2E52221.2021.00041](https://doi.org/10.1109/IC2E52221.2021.00041).
- [5] M. Vokáč, L. Balik, 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," *Internet of Things*, 2020, doi: [10.5772/intechopen.94589](https://doi.org/10.5772/intechopen.94589).
- [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] Y. A. Awwad, O. Rana, and C. Perera, "Anomaly Detection on the Edge Using Smart Cameras under Low-Light Conditions," *Sensors*, vol. 24, no. 3, p. 772, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/s24030772>.
- [10] G. Saleem, U. I. Bajwa, R. H. Raza, F. H. Alqahtani, A. Tolba, and F. Xia, "Efficient anomaly recognition using surveillance videos," *Peerj Comput. Sci.*, vol. 8, p. e1117, 2022, doi: <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1117>.
- [11] A. D. Pazho, C. Neff, G. A. Noghre, B. R. Ardabili, S. Yao, and M. Baharani, "Ancilia: Scalable Intelligent Video Surveillance for the Artificial Intelligence of Things," *IEEE Internet Things J.*, vol. 10, no. 17, pp. 14940–14951, 2023, doi: 10.1109/JIOT.2023.3263725.
- [12] 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>.
- [13] K. Okokpujie, I. P. Okokpujie, 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/ijssse.130609>.
- [14] N. Arafah, "Rancang Bangun Mobil Remote Control dengan Smartphone Android Menggunakan Sensor HC-SR04 Berbasis Atmega328," Universitas Sumatera Utara, 2021.
- [15] K. Ingale, O. Tekade, P. Thakare, A. Wankhade, and P. Wankhade, "An Advanced Surveillance Motorized Car for Real-Time Inspection with Sensing Capabilities BT - Intelligent Control, Robotics, and Industrial Automation," 2024, pp. 263–279.
- [16] M. F. Dzulfarnain, "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 Iot Blynk," WAGHOLI, PUNE 412207, 2022.

Template dan Pedoman Penulisan Artikel PROGRESIF - 2022.doc

ORIGINALITY REPORT

5%

SIMILARITY INDEX

3%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

3%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

doaj.org

Internet Source

2%

2

Submitted to University of Southern Mississippi

Student Paper

2%

3

repository.uin-suska.ac.id

Internet Source

1%

Exclude quotes On

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography On