

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Jalan

Jalan adalah prasarana transportasi darat yang mencakup seluruh bagian permukaan dan bangunan pelengkapannya. Jalan juga dirancang untuk menunjang pergerakan kendaraan, pejalan kaki, dan hewan. Menurut Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 mengenai jalan, jalan dapat didefinisikan sebagai infrastruktur yang meliputi permukaan tanah, bawah tanah, perairan, atau atas air, dengan pengecualian dengan pengecualian untuk jalur kereta api dan sejenisnya (Pasal 1 Ayat 1). Fungsi utama dari jalan yaitu menghubungkan berbagai lokasi untuk mendukung mobilitas masyarakat, distribusi barang, dan pertumbuhan ekonomi.

Sebagai salah satu bentuk infrastruktur dasar, jalan tidak hanya berfungsi sebagai prasarana transportasi fisik, namun juga menjadi tulang punggung pertumbuhan suatu negara. Dengan memfasilitasi distribusi barang dan mobilitas tenaga kerja, mengurangi biaya logistik, memperluas akses industri ke bahan baku, dan mendukung integrasi perdagangan antar wilayah (Fauzan dkk., 2023). Dengan demikian jalan tidak hanya sebagai infrastruktur fisik saja, namun juga dapat menjadi penggerak multiplier effect ekonomi melalui konektivitas yang diciptakan.



Gambar 2. 1 Jalan Raya¹

¹ Sumber : <https://jnewsonline.com/>

2.1.2 Sistem Surveillance

Sistem Surveillance merupakan sistem pemantauan yang dirancang untuk merekam, mengamati, atau mendeteksi aktivitas di suatu area tertentu, umumnya untuk keperluan keamanan. Sistem ini dapat terdiri dari berbagai komponen yaitu kamera pengintai, sensor gerak, sensor cahaya, dan perangkat lunak pemrosesan data. Seiring dengan perkembangan teknologi, sistem ini kini semakin canggih dengan mengintegrasikan teknologi IoT untuk menghubungkan berbagai sensor ke internet. Dengan adanya integrasi ini, proses pemantauan dapat dilakukan secara real-time melalui perangkat digital yaitu *Smartphone* atau komputer. Selain itu, sistem ini juga mendukung otomatisasi dan notifikasi, yang dapat meningkatkan efektivitas sistem keamanan secara keseluruhan.

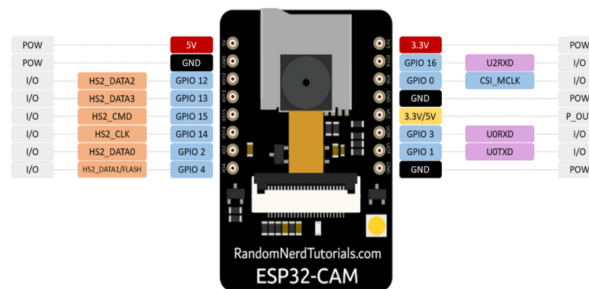
Komponen utama dalam sistem ini biasanya meliputi kamera pengintai (CCTV), sensor pendukung (sensor gerak atau sensor cahaya), dan perangkat pengolahan data. Kamera digunakan untuk menangkap visual, sementara sensor berperan untuk memperkuat sistem dalam mengenali situasi yang membutuhkan perhatian lebih. Misalnya, sensor gerak akan mendeteksi aktivitas fisik, sedangkan sensor cahaya akan merespon perubahan pencahayaan yang mendadak. Semua informasi yang dihasilkan oleh sensor-sensor tersebut dapat dianalisis secara lokal maupun dapat dikirim ke pusat pemantauan.

Dengan perkembangan teknologi, sistem ini sekarang telah mengadopsi konsep IoT. Hal ini memungkinkan perangkat-perangkat dalam sistem tersebut dapat terhubung satu sama lain dan ke internet, sehingga pemantauan bisa dilakukan dari jarak yang jauh secara real-time menggunakan perangkat yaitu *smartphone*, tablet, atau komputer. Tak hanya itu, sistem modern juga sudah dilengkapi dengan kemampuan analisis data dan kecerdasan buatan (AI) untuk mengenali pola-pola tertentu yaitu wajah, plat nomor kendaraan, atau perilaku yang mencurigakan.

2.1.3 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 ukuran nya kecil, harganya yang murah, dan kemampuan yang cukup kuat untuk proyek 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. 2 ESP32-Cam Pinout²

Modul ini memiliki dua sisi dalam rangkaiannya. Di bagian atas terdapat modul kamera yang dapat dibongkar pasang dan ada microSD yang dapat diisi. 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 ESP32 sebagai otaknya.

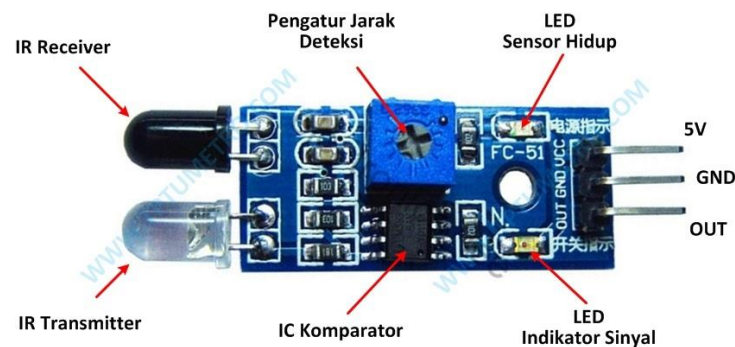
2.1.4 Sensor Inframerah

Sensor inframerah merupakan perangkat elektronik yang digunakan untuk mendeteksi radiasi inframerah (IR) yang dipancarkan oleh objek sekitarnya. Radiasi ini umumnya berasal dari panas, sehingga sensor ini sangat efektif untuk mendeteksi manusia dan hewan. Sensor ini terbagi menjadi dua jenis utama, yaitu sensor pasif dan sensor aktif. Sensor pasif bekerja dengan mendeteksi perubahan suhu sari radiasi panas tubuh makhluk hidup, sehingga sering digunakan dalam sistem keamanan atau lampu otomatis. Sementara itu, sensor aktif menggunakan

² Sumber: <https://blog.indobot.co.id>

pemancar dan penerima sinyal IR untuk mendeteksi objek berdasarkan pantulan sinyal, dan biasanya digunakan untuk mengukur jarak atau mendeteksi rintangan.

Sensor inframerah digunakan sebagai sensor pengukur jarak, dimana nilai akurasi lebih tinggi jika jarak objek pada range $20\text{ cm} < x < 150\text{ cm}$. Penelitian tentang sensor inframerah sebagai pengukur jarak juga menghasilkan kesimpulan, bahwa radiasi inframerah mampu mendeteksi objek pada jarak lebih dari 1 meter (Putra & Handika, 2023). Radiasi inframerah memiliki jangkauan tiga “order” dan memiliki panjang gelombang antara 700 nm dan 1 mm. Radiasi inframerah ditemukan secara tidak sengaja oleh Sir William Herschell, astronom kerajaan inggris ketika ia sedang mengadakan penelitian mencari bahan penyaring optis yang digunakan untuk mengurangi kecerahan gambar matahari pada teleskop tata surya.



Gambar 2. 3 Sensor Inframerah dengan Pinout³

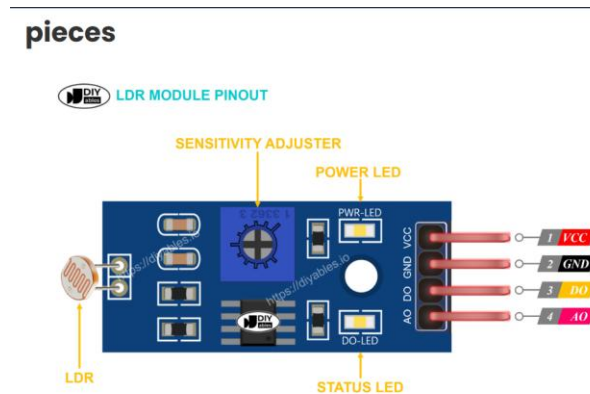
2.1.5 Fotoresoristor

Fotoresoristor atau Light Dependent Resistor (LDR) merupakan salah satu jenis sensor cahaya pasif yang nilai hambatannya berubah-ubah tergantung pada intensitas cahaya yang diterima. Ketika cahaya yang jatuh pada permukaan LDR meningkat, maka nilai hambatannya akan menurun, dan begitu pula sebaliknya. Bahan yang sering digunakan sebagai bahan baku pembuatan fotoresoristor yaitu bahan semi konduktor dari jenis polikristalin maupun monokristalin (Warsito, 2012). Sensor ini sering digunakan dalam aplikasi otomatisasi yang berkaitan dengan pencahayaan. Dalam konteks sistem surveillance, LDR dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi perubahan pencahayaan lingkungan yang mencurigakan, yaitu

³ Sumber: <https://www.tptumetro.com/2021/01/cara-kerja-modul-infrared-fc-51-sensor.html>

pergerakan yang tiba-tiba dalam keadaan gelap atau perubahan intensitas cahaya yang dapat menandakan aktivitas yang tidak biasa.

Dalam konteks sistem surveillance atau keamanan berbasis IoT, LDR dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi perubahan kondisi cahaya yang mencurigakan. Misalnya, jika sebuah area yang seharusnya gelap tiba-tiba menjadi terang atau sebaliknya, sistem dapat menganggap hal tersebut sebagai anomali dan mengaktifkan fitur peringatan atau merekam kejadian tersebut menggunakan kamera. Selain itu, LDR juga dapat digunakan untuk mengaktifkan atau menyesuaikan cahaya tambahan agar kamera dapat menangkap gambar secara optimal dalam kondisi pencahayaan rendah, terutama pada malam hari atau di area tertutup. Kombinasi LDR dengan sistem otomasi berbasis mikrokontroler memungkinkan sistem menjadi lebih adaptif terhadap lingkungan sekitar secara real-time.



Gambar 2. 4 Sensor LDR dengan Pinout⁴

2.1.6 Protokol MQTT

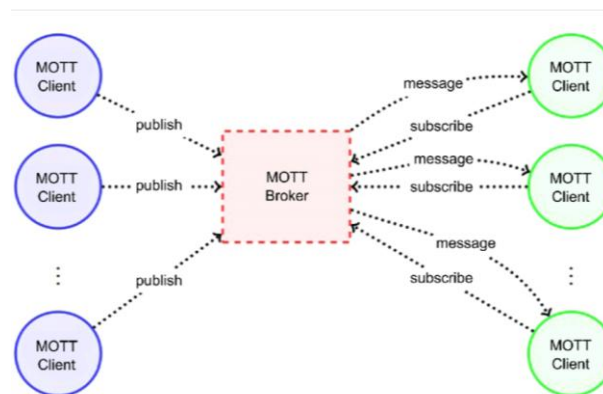
Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) merupakan protokol komunikasi ringan berbasis publish-subscribe yang dirancang untuk perangkat dengan sumberdaya terbatas dan jaringan yang memiliki bandwidth yang rendah (Soni & Makwana, 2017). Protokol ini bekerja di atas TCP/IP dan menggunakan arsitektur 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 dkk., 2018). Broker bertanggung jawab untuk mendistribusikan pesan ke klien yang sesuai. MQTT banyak

⁴ Sumber: <https://diyables.io/products/ldr-light-sensor-module>

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 yaitu 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 yaitu HTTP, hal ini memungkinkan perangkat IoT 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, menjadikan MQTT sebagai 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.



Gambar 2. 5 Protokol MQTT⁵

2.1.7 Node-RED

Node-RED merupakan platform berbasis alur (*flow-based programming*) yang dikembangkan oleh IBM untuk memudahkan pengembangan aplikasi *Internet of*

⁵ Sumber: https://www.researchgate.net/figure/MQTT-protocol-model_fig1_347026819

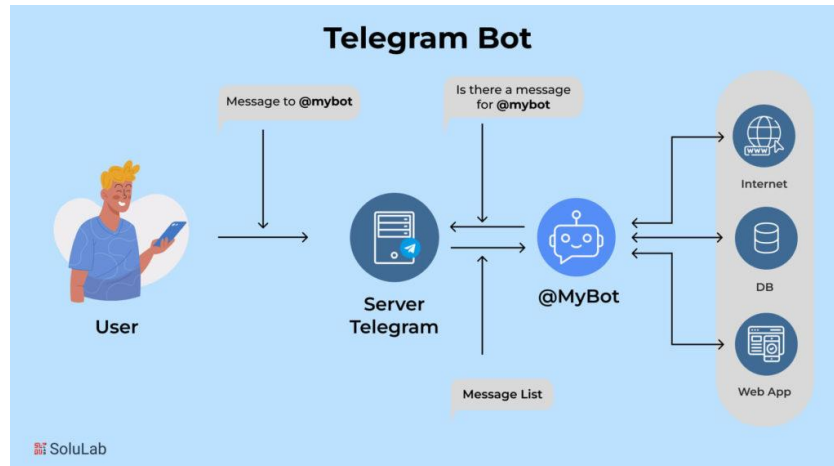
Things. Platform ini menyediakan antarmuka berbasis web yang memungkinkan pengguna untuk menyusun alur logika dengan menggunakan node yang dapat dihubungkan secara visual. *Node-RED* juga dirancang untuk mengintegrasikan perangkat keras, *API*, dan layanan online dengan cara yang sederhana dan efisien.

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 yaitu *MQTT*, *HTTP*, dan *WebSocket*, yang menjadikannya sangat cocok untuk implementasi proyek berbasis *IoT* dan *smart Surveillance*.

2.1.8 Telegram

Telegram merupakan sebuah aplikasi berbasis cloud yang dirancang untuk mengirim pesan teks, suara, gambar, video, dokumen hingga melakukan panggilan suara maupun video dengan cepat dan aman. Aplikasi ini dikembangkan oleh Pavel Durov pada tahun 2013 dengan fokus keamanan, kecepatan, serta kemudahan akses lintas platform. Telegram mendukung penggunaan di berbagai perangkat secara bersamaan, baik melalui aplikasi mobile, desktop, maupun web, karena semua data disinkronkan secara otomatis melalui server cloud.

Keunggulan utama Telegram terletak pada kelengkapan fitur dan skalabilitasnya. Pengguna dapat membuat grup dengan ribuan anggota, channel untuk siaran publik, hingga menggunakan bot yang bisa deprogram untuk menjalankan berbagai fungsi otomatis seperti mengelola data, memberikan notifikasi, atau integrasi dengan system *IoT*. Dukungan terhadap *API* yang terbuka menjadikan telegram populer di kalangan pengembang *IoT*, karena memudahkan pembuatan aplikasi tambahan maupun sistem otomasi. Dengan kombinasi fitur komunikasi yang kaya, kecepatan transfer data, serta sistem keamanan yang cukup baik.



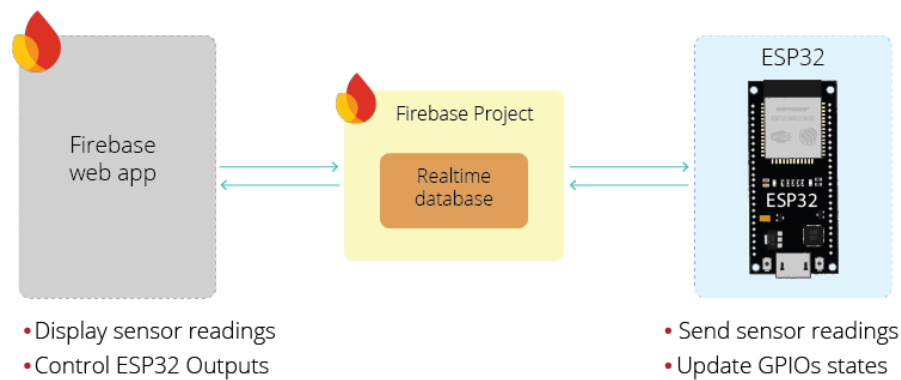
Gambar 2. 6 Telegram⁶

2.1.9 Firebase

Firebase merupakan platform pengembangan aplikasi berbasis cloud yang dikembangkan oleh google dengan tujuan mempermudah developer dalam membangun aplikasi web, mobile, maupun IoT tanpa harus mengelola infrastruktur server secara manual. Salah satu fitur utamanya yaitu database, yang terdiri dari *realtime database* dan *cloud database*. *Realtime database* dapat menyimpan data dalam format JSON yang terstruktur seperti tree dan dapat melakukan sinkronisasi data secara real-time antar pengguna, sehingga cocok digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan pembaruan data cepat seperti chat atau monitoring IoT. Sementara itu, Cloud Firestore merupakan database berbasis dokumen yang lebih fleksibel, mendukung query kompleks, dan skalabilitas yang lebih baik untuk sistem yang besar.

Selain database, firebase juga menyediakan berbagai layanan tambahan yang saling terintegrasi, seperti Firebase Authentication untuk sistem login dengan berbagai metode, Firebase Cloud Storage untuk penyimpanan gambar dan video, dan Firebase Cloud Messaging yang digunakan untuk mengirim notifikasi push secara gratis ke aplikasi mobile.

⁶ Sumber: <https://www.solulab.com/how-to-create-a-telegram-bot/>



Gambar 2. 7 Firebase⁷

2.1.10 Burn in Test

Uji Burn in Test merupakan metode pengujian keandalan komponen atau produk dengan cara memberikan beban berlebih untuk jangka waktu tertentu. Hal ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menghilangkan komponen atau produk yang cacat sebelum digunakan. Sebagian besar penelitian berfokus pada berapa lama dan dalam kondisi seperti apa proses burn in test ini dilakukan untuk memaksimalkan efisiensi biaya dan keandalan komponen di lapangan (Yuan dkk., 2016). Dalam banyak kasus, produk cacat biasanya gagal pada tahap awal percobaan, dan burn in test bertujuan untuk mempercepat kegagalan ini agar komponen yang cacat dapat terdeteksi di lingkungan pengujian, bukan pada saat sudah digunakan.

Burn in test dapat dilakukan secara failure-based, yaitu menunggu sampai produk gagal dan menggunakan data kegagalan tersebut untuk memperkirakan keandalan produk. Meski efektif, burn in test dapat menambah waktu dan biaya, sehingga banyak penelitian yang hanya fokus pada optimasi durasi dan kondisi burn-in agar tetap efisien namun tetap menjamin produk.

⁷ Sumber: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-firebase-realtime-database/>

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 dan sebagai perbandingan antara penelitian ini dengan penelitian terdahulu.

Penelitian yang dilakukan oleh Atikah dkk.(2022), memiliki situasi yaitu tingginya angka pencurian di warung yang tidak memiliki sistem keamanan. Tugas dari penelitian tersebut yaitu merancang sistem pengawasan berbasis IoT yang dapat memberikan peringatan dini. Dengan memanfaatkan sensor PIR dan ESP32-CAM yang terintegrasi dengan aplikasi Telegram, kemudian peneliti akan membangun sistem yang mampu menangkap gambar dan mengirimkan notifikasi ke Telegram secara real-time. Hasilnya, sistem ini terbukti efektif mendeteksi gerakan dalam jarak 1-6 meter dan dapat mengirimkan gambar ke Telegram dalam waktu 4-10 detik, sehingga dapat meningkatkan keamanan warung.

Kemudian pada penelitian yang dilakukan oleh Putra dan Handika (2023) merespons maraknya pelanggaran lampu lalu lintas yang tidak memberikan efek jera. Penelitian mereka bertugas untuk merancang sistem keamanan lalu lintas berbasis ESP32-CAM dan Arduino Mega 2560 yang dilengkapi dengan sensor inframerah, LDR, dan notifikasi suara. Sistem ini dibangun untuk memberikan efek pencegahan dengan menggunakan deteksi visual dan alarm bagi pelanggar. Hasil dari implementasi sistem ini menunjukkan bahwa sistem berhasil mendeteksi pelanggaran dan memberikan peringatan secara real-time, dengan integrasi ke smartphone untuk pemantauan yang lebih mudah.

Penelitian yang dilakukan oleh Arrahma dan Mukhaiyar (2023) berfokus pada pengujian kemampuan ESP32-CAM dalam mendeteksi objek secara visual. Dalam situasi pengujian biometrik sederhana, mereka diminta untuk menguji performa ESP32-CAM dalam kondisi yang berbeda. Dengan menggunakan halaman web lokal, ESP32-CAM diuji dalam mendeteksi objek dengan variasi jarak dan penghalang. Hasilnya menunjukkan bahwa kamera ini mampu mendeteksi objek hingga 150 cm, tetapi kurang efektif dalam jarak sangat dekat yaitu 30 cm.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Idham dkk. (2023) menghadapi pelanggaran lalu lintas berupa kendaraan yang melanggar zebra cross. Tujuan

penelitian ini yaitu membuat sistem yang mampu untuk memberikan peringatan langsung ke pengendara. Sistem ini dirancang dengan menggunakan ESP32-CAM, loop detector, speaker, dan diintegrasikan ke aplikasi Blynk untuk melakukan pemantauan. hasilnya menunjukkan bahwa sistem ini dapat bekerja secara efektif dengan memberikan suara peringatan saat pelanggaran terjadi dan mampu dipantau dari jarak jauh.

Penelitian yang dilakukan oleh Imron dkk. (2024) menangani kebutuhan penyimpanan besar pada sistem deteksi objek dengan konteks cloud computing. Tantangan utamanya yaitu menyimpan dan memproses data deteksi objek secara efisien. Tugas mereka yaitu membangun solusi untuk penyimpanan berbasis cloud untuk ESP32-CAM yang mendukung arsitektur terdistribusi. Dengan menggunakan firebase dan pelatihan model FOMO (First Object, More Object), mereka berhasil menciptakan sistem yang mendukung pengenalan objek ESP8266, Wemos Di, dan Arduino Uno secara akurat. Sistem ini mencapai nilai F1-score sebesar 98,7% dan akurasi 89,59% dalam pengujian deteksi objek.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Syahbana dan Jati (2024) menunjukan bahwa integrasi antara ESP32, protokol MQTT, dan Node-RED sangat efektif untuk pemantauan kondisi secara real-time. Dalam studi ini, sistem digunakan untuk memantau suhu ruangan server dan mengirim notifikasi otomatis melalui telegram API jika terjadi perubahan drastis. Node-RED berperan sebagai platform pengolahan data visual dan pengendali alur kerja, yang memungkinkan fleksibilitas tinggi dalam mengatur logika dan notifikasi sistem. Arsitektur ini terbukti andal, efisien dan mudah diakses melalui web dashboard, bahkan dari perangkat mobile. Implementasi ini menunjukan bahwa pendekatan ini dapat diterapkan pada sistem pemantauan lalu lintas berbasis visual.

Tabel 2. 1 Perbandingan variabel penelitian

Kategori	Peneliti 1	Peneliti 2	Peneliti 3	Peneliti 4	Peneliti 5	Peneliti 6
Penulis	Atikah, Hartati, Bahtiar, dan Nurdiawan	Putra dan Handika	Arrahma dan Mukhaiyar	Idham, Candra, Faizah, dan Nurul	Imron, Satria, Karim, Ramadhani, dan Fajar	Syahbana dan Jati
Tahun	2022	2022	2023	2024	2024	2024
Judul	Sistem Image Capturing Menggunakan	Rancang Bangun Sistem	Pengujian Esp32-Cam	Prototype Larangan Pengenda	Cloud Storage for Object	Integration of MQTT and Node-

Kategori	Peneliti 1	Peneliti 2	Peneliti 3	Peneliti 4	Peneliti 5	Peneliti 6
	ESP32-Cam Untuk Memonitoring Objek Melalui Telegram	Keamanan Lalu Lintas Menggunakan Smartphone Dan Esp32cam Berbasis Arduino Mega 2560	Berbasis Mikrokontroler ESP32	ra Melewati Zebra Cross di Traffic Light Berbasis Esp32 CAM	Detection using ESP32-CAM	RED for IoT-Based Server Room Temperature Monitoring System
Metode/Tools	ESP32-Cam, Sensor PIR, dan Telegram	ESP32-Cam, Arduino Mega 2560, Sensor laser, RTC, Water pump, dan Telegram	ESP32-Cam, NodeMCU ESP32, Arduino IDE	ESP32-Cam, Relay, Speaker, Aplikasi Blynk, DFPlayer Mini, Loop Detector	ESP32-Cam, Edge Impulse untuk pemodelan ML	NodeMCU ESP32 dan sensor DHT22, Protokol MQTT dan publik broker HiveMQ, Node-Red
Hasil Utama	Deteksi gerakan manusia pada jarak 1-6 meter dengan pengiriman foto ke telegram dengan delay 4-10 detik	Deteksi pelanggaran lalu lintas, penyiraman air otomatis, dan pengiriman foto ke telegram.	Jarak ideal deteksi wajah adalah 60 cm dan maksimal pada 150 cm	Deteksi kendaraan melanggar via sensor loop, aktivasi alarm suara, dan monitoring Blynk	Berhasil mendeteksi objek dan menyimpan gambarnya secara real-time ke bucket firebase tanpa jeda.	Pemantauan suhu server <i>real-time</i> berhasil dan mampu untuk memberikan notifikasi peringatan otomatis ke telegram saat terjadi perubahan suhu.
Relevansi dengan Penelitian	Analisis performa delay pengiriman gambar ke telegram via Wi-Fi	Komunikasi antar mikrokontroler dan pemicu pengambilan gambar sebagai bukti pelanggaran	Batasan deteksi ESP32-Cam	Integrasi sensor dan streaming ke platform IoT.	Panduan teknis untuk menyimpan gambar ke layanan cloud seperti firebase	Implementasi protokol pengiriman data ringan(MQTT) pada perangkat IoT

Berdasarkan kajian terhadap beberapa penelitian terdahulu pada **Error! Reference source not found.**, diketahui bahwa penelitian-penelitian tersebut telah membahas topik yang relevan dengan penelitian ini. Namun, masih terdapat keterbatasan dari integrasi pemantauan visual dengan platform dashboard berbasis *flow(Node-Red)* dan fitur adaptasi pencahayaan otomatis untuk mengoptimalkan kualitas penangkapan gambar.

Berbeda dengan penelitian terdahulu yang hanya memanfaatkan ESP32-CAM sebagai perangkat pemantauan secara *real-time*, penelitian ini akan menggunakan ESP32-CAM sebagai sistem pemantauan lalu lintas yang terintegrasi dengan platform Node-RED. Perangkat ini juga dilengkapi dengan sensor LDR yang digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya di lingkungan sekitar. Apabila intensitas cahaya berada di bawah ambang batas, maka lampu LED dari ESP32-CAM akan aktif untuk membantu proses pengambilan gambar.