

Prototipe Sistem Monitoring dan Peringatan Dini Bahaya Maling dan Kebakaran Berbasis *Internet of Things* (IoT)

Muhammad Raffa Haikal¹, Almasri², Ryan Fikri³, Sartika Anori⁴

Universitas Negeri Padang

Alamat: Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Bar., Kec. Padang Utara, Kota Padang

Korespondensi penulis: mhd.raffahaikal@gmail.com

Abstract. *This study aims to design and build a prototype of an Internet of Things (IoT)-based monitoring and early warning system for burglary and fire as an alternative to home security systems that use Passive Infrared (PIR) sensors. The system integrates two ESP32 units that communicate via UART. Unit 1 uses three beam-interruption-based laser/LDR sensors to detect intrusions, an MQ-2 gas sensor to detect gas leaks, and a flame sensor to detect fire, and is equipped with an LCD and a buzzer. Unit 2 uses an ESP32-CAM to send image notifications via Telegram, upload data to ThingSpeak, and provide live camera streaming. The system was developed using the Waterfall model, which includes requirements analysis, design, implementation, and testing. Test results show that the laser/LDR sensors can classify conditions as normal, warning, animal detected, and intruder with a one-second debounce. The MQ-2 sensor can distinguish between normal, alert, and danger conditions using a moving average and hysteresis, while the flame sensor detects fire with a 300-millisecond debounce. UART communication, Telegram notifications, ThingSpeak visualization, and live streaming all functioned properly. Thus, the prototype is capable of providing more targeted intrusion detection and early warnings of fire hazards.*

Keywords: *ESP32, Internet of Things (IoT), Laser Sensor, MQ-2 Gas Sensor*

Abstrak. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun prototipe sistem monitoring dan peringatan dini bahaya maling dan kebakaran berbasis *Internet of Things* (IoT) sebagai alternatif sistem keamanan rumah yang menggunakan sensor Passive Infrared (PIR). Sistem mengintegrasikan dua unit ESP32 yang berkomunikasi melalui UART. Unit 1 menggunakan tiga sensor laser/LDR berbasis beam interruption untuk mendeteksi intrusi, sensor gas MQ-2 untuk mendeteksi kebocoran gas, dan sensor flame untuk mendeteksi api, serta dilengkapi LCD dan buzzer. Unit 2 menggunakan ESP32-CAM untuk mengirim notifikasi bergambar melalui Telegram, mengunggah data ke ThingSpeak, dan menyediakan live streaming kamera. Pengembangan sistem menggunakan model Waterfall yang meliputi analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, dan pengujian. Hasil pengujian menunjukkan sensor laser/LDR mampu mengklasifikasikan kondisi menjadi normal, peringatan, hewan terdeteksi, dan penyusup dengan debounce satu detik. Sensor MQ-2 mampu membedakan kondisi normal, waspada, dan bahaya menggunakan moving average dan histeresis, sedangkan sensor flame mendeteksi api dengan debounce 300 milidetik. Komunikasi UART, notifikasi Telegram, visualisasi ThingSpeak, dan live streaming berhasil berfungsi dengan baik. Dengan demikian, prototipe mampu memberikan deteksi intrusi yang lebih terarah serta peringatan dini terhadap bahaya kebakaran.

Kata Kunci: *ESP32, Internet of Things (IoT), Sensor Laser, Sensor Gas MQ-2*

PENDAHULUAN

Dari aktivitas sehari-hari, hampir sebagian besar dilakukan di luar rumah, sehingga pada saat jam-jam kerja dapat dipastikan rumah kosong ditinggal pergi oleh penghuninya, terlebih pada saat hari libur seperti libur lebaran dan tahun baru. Kekosongan rumah tersebut menjadi target utama bagi para pencuri, terutama pada rumah dengan sistem keamanan yang lemah (Bachtiar et al., 2022). Berdasarkan data Pusat Informasi Kriminal Nasional (Pusiknas) Bareskrim Polri, sepanjang tahun 2025 tercatat sebanyak 414.812 laporan kasus kejahatan di Indonesia, dan dari jumlah tersebut, tindak pidana pencurian dengan pemberatan (curat) menjadi salah satu jenis kejahatan dengan jumlah laporan tertinggi, yaitu sebanyak 48.531 kasus (Pusiknas Bareskrim Polri, 2025). Selain ancaman pencurian, kebakaran juga sering terjadi akibat korsleting listrik atau kebocoran gas, dan ada beberapa situasi ketika pemilik rumah tidak menyadari bahwa rumah

mereka sedang terbakar, misalnya ketika kebakaran terjadi saat pemilik rumah tidak berada di rumah atau saat pemilik sedang tidur di malam hari (Kuncoro et al., 2023).

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) menawarkan solusi inovatif dalam bidang keamanan rumah, karena IoT memungkinkan berbagai perangkat fisik terhubung ke jaringan internet sehingga dapat melakukan pemantauan, pengolahan data, dan pengiriman informasi secara real-time (Zikri et al., 2026). Dalam implementasinya, sistem keamanan berbasis IoT umumnya menggunakan *sensor Passive Infrared* (PIR) untuk mendeteksi pergerakan. Penelitian oleh Sulaeman (2022) menunjukkan bahwa sensor PIR dapat digunakan untuk mendeteksi gerakan dan mengirimkan notifikasi melalui aplikasi Blynk. Putra & Mukhaiyar (2022) menunjukkan bahwa sistem keamanan rumah dapat diintegrasikan dengan kamera dan jaringan internet untuk meningkatkan monitoring secara *real-time*. Nababan et al., (2024) mengembangkan sistem keamanan yang mampu memberikan peringatan berupa buzzer dan pesan kepada pengguna, sedangkan Rumere & Manullang (2024) menunjukkan bahwa sistem berbasis sensor PIR dan ESP32-CAM mampu memberikan notifikasi secara real-time melalui Telegram serta meningkatkan pengawasan rumah secara jarak jauh.

Meskipun berbagai penelitian tersebut menunjukkan bahwa sensor PIR cukup efektif dalam mendeteksi pergerakan, sensor ini masih memiliki keterbatasan. Sensor PIR bekerja berdasarkan perubahan radiasi inframerah yang dipancarkan objek, sehingga kinerjanya dapat dipengaruhi oleh perubahan suhu lingkungan dan aktivitas pergerakan yang tidak berkaitan dengan ancaman keamanan, yang menyebabkan sistem rentan menghasilkan false alarm. Selain itu, sensor PIR tidak mampu memberikan batas deteksi yang spesifik pada jalur tertentu, sehingga kurang optimal pada sistem keamanan yang membutuhkan tingkat presisi tinggi dalam mendeteksi intrusi. Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini menawarkan kebaruan berupa prototipe sistem monitoring dan peringatan dini yang menerapkan sistem deteksi intrusi berbasis laser dengan prinsip beam interruption, memanfaatkan modul Laser KY-008 sebagai pemancar cahaya dan sensor LDR LM393 sebagai penerima cahaya, sebagai alternatif dari sensor PIR yang telah banyak digunakan pada penelitian-penelitian sebelumnya. Sistem juga dilengkapi Sensor Gas MQ-2 untuk mendeteksi keberadaan gas mudah terbakar dan Flame Sensor untuk mendeteksi nyala api, serta diintegrasikan dengan *platform ThingSpeak* untuk pemantauan data historis dan aplikasi Telegram untuk notifikasi bergambar dari ESP32-CAM.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: 1) merancang dan membangun prototipe sistem deteksi intrusi berbasis laser dengan memanfaatkan modul Laser KY-008 sebagai pemancar dan sensor LDR LM393 sebagai penerima cahaya berdasarkan prinsip beam interruption; 2) mengimplementasikan Sensor Gas MQ-2 dan Flame Sensor pada sistem berbasis ESP32 untuk mendeteksi potensi bahaya kebakaran secara dini; dan 3) membangun sistem monitoring dan peringatan dini berbasis IoT yang terintegrasi dengan platform ThingSpeak dan aplikasi Telegram sehingga pengguna dapat memantau kondisi keamanan rumah secara real-time dari jarak jauh.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Waterfall* untuk merancang dan membangun prototipe sistem monitoring dan peringatan dini bahaya maling dan kebakaran berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan platform ThingSpeak dan aplikasi Telegram. *Waterfall* merupakan salah satu model pengembangan sistem yang terdiri atas beberapa tahapan, yaitu analisis kebutuhan perangkat lunak, desain, pembuatan kode program, dan pengujian, yang mengalir secara linear dan berurutan dari satu fase ke fase berikutnya (Anis et al., 2023). Pada penelitian ini, tahapan yang dilaksanakan dibatasi sampai pada tahap pengujian (testing), meliputi analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, dan pengujian sistem.

Tahap analisis kebutuhan mengidentifikasi perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan. Perangkat keras terdiri atas ESP32 DevKit V1 sebagai mikrokontroler utama, modul Laser KY-008 sebagai pemancar berkas cahaya, sensor LDR LM393 sebagai penerima berkas

cahaya yang mengubah perubahan intensitas cahaya menjadi sinyal digital, ESP32-CAM (AI Thinker) yang telah dilengkapi kamera OV2640 untuk pengambilan gambar dan pengiriman notifikasi, Flame Sensor untuk mendeteksi nyala api, Sensor Gas MQ-2 untuk mendeteksi gas mudah terbakar, Buzzer sebagai indikator suara, LCD 16x2 berbasis modul I2C untuk menampilkan status sistem secara lokal, dan baterai litium sebagai sumber tegangan. Perangkat lunak yang digunakan meliputi Arduino IDE sebagai lingkungan pengembangan program, ThingSpeak sebagai platform IoT berbasis cloud untuk penyimpanan dan visualisasi data sensor, Fritzing sebagai perangkat lunak desain rangkaian, dan Telegram sebagai media penerima notifikasi visual dari ESP32-CAM.

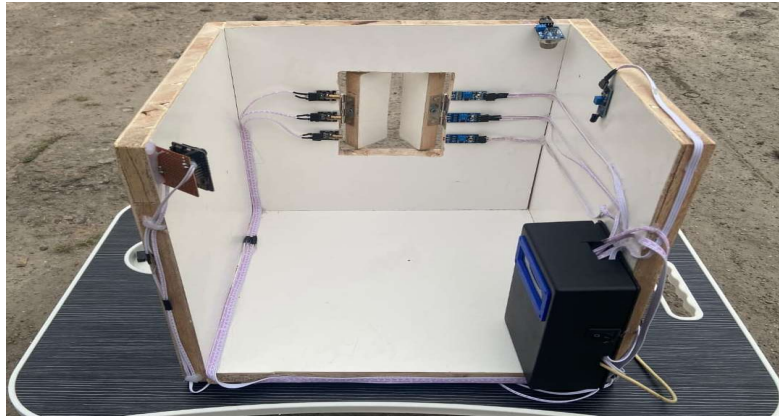
Pada tahap perancangan, sistem dibagi menjadi dua unit ESP32 yang saling berkomunikasi melalui jalur serial (UART) pada kecepatan 115200 bps, dengan pertimbangan pembagian beban kerja (*division of labor*). Unit 1 (ESP32 DevKit) didedikasikan untuk tugas yang membutuhkan responsivitas waktu nyata, yaitu pembacaan sensor, debounce, dan pengambilan keputusan atas kejadian, tanpa terganggu oleh proses jaringan yang relatif lambat dan tidak menentu waktunya. Unit 1 terhubung dengan tiga sensor laser/LDR sebagai pendeteksi gangguan pada tiga ketinggian berbeda, satu sensor gas MQ-2, satu sensor flame, satu LCD 16x2 berbasis I2C, dan satu buzzer. Unit 2 (ESP32-CAM) didedikasikan untuk tugas yang bersifat komunikasi dan citra, yaitu koneksi Wi-Fi, pengiriman notifikasi, dan pengambilan gambar, yang seluruhnya memerlukan sumber daya memori dan pemrosesan lebih besar. Unit 2 menerima data dari Unit 1 melalui jalur UART, kemudian memanfaatkan konektivitas Wi-Fi bawaannya untuk mengirim notifikasi ke Telegram, mengunggah data ke ThingSpeak, dan menjalankan server streaming.

Program Unit 1 menerapkan debounce pada sensor laser (1 detik) dan flame (300 milidetik), serta histeresis dua tingkat pada sensor gas (waspada pada nilai ADC 500, bahaya pada nilai ADC 1000) agar status tidak berubah-ubah akibat nilai sensor yang berfluktuasi di sekitar ambang batas. Setiap kejadian yang terdeteksi dimasukkan ke dalam antrean event yang dikirim ke Unit 2 dan diulang setiap dua detik apabila balasan (ACK) belum diterima. Program Unit 2 menerapkan prinsip satu event menghasilkan satu paket data yang sama untuk Telegram dan ThingSpeak, sehingga isi notifikasi Telegram selalu selaras dengan titik data pada grafik ThingSpeak, dan balasan ACK ke Unit 1 baru dikirim setelah kedua proses tersebut selesai. Tahap implementasi dilakukan dengan merakit seluruh perangkat keras dan memprogram kedua unit menggunakan Arduino IDE, dilanjutkan dengan tahap pengujian terhadap kinerja sensor, tegangan komponen, komunikasi antarunit, serta notifikasi Telegram, *ThingSpeak*, dan *live streaming*.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Implementasi Sistem

Hasil penelitian ini berupa prototipe sistem monitoring dan peringatan dini bahaya maling dan kebakaran berbasis ESP32 yang terdiri atas dua unit yang saling berkomunikasi. Unit 1 (ESP32 utama) bertugas membaca sensor, menentukan kejadian (*event*), menampilkan status pada LCD, dan membunyikan buzzer, sedangkan Unit 2 (ESP32-CAM) bertugas menghubungkan sistem ke jaringan Wi-Fi, mengirim notifikasi ke Telegram, mengunggah data ke *ThingSpeak*, dan menyediakan *live streaming* kamera.



Gambar 1. Hasil Perancangan Prototipe

Hasil Pengujian Sensor Laser/LDR

Setiap jalur laser pada sistem ini bekerja berdasarkan prinsip pemutusan berkas cahaya (*beam-break detection*). Selama berkas laser diterima oleh LDR secara terus-menerus, keluaran digital ESP32 terbaca LOW (kondisi aman), dan ketika berkas laser terhalang oleh benda atau makhluk yang melintas, keluaran berubah menjadi HIGH yang diartikan sebagai satu jalur laser terputus. Program menerapkan waktu konfirmasi (*debounce*) selama satu detik sebelum perubahan status diambil, agar gangguan sesaat seperti debu atau serangga kecil tidak langsung dianggap sebagai kejadian. Pengujian dilakukan dengan menghalangi jalur laser satu per satu dan mengamati status yang dihasilkan sistem.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor Laser/LDR

No	Jumlah Laser Terputus	Status Sistem
1	0	Normal
2	1	Peringatan
3	2	Hewan Terdeteksi
4	3	Penyusup (Bahaya)

Sebagai ilustrasi waktu tanggap sistem, apabila sebuah objek melintas dan memutus ketiga jalur laser secara bersamaan, sistem baru mengambil keputusan setelah nilai stabil selama satu detik (*debounce*), kemudian event dikirim ke Unit 2 dan diulang setiap dua detik apabila balasan ACK belum diterima, hingga maksimal 40 kali percobaan, sehingga waktu maksimum sebuah event tertahan dalam antrian sebelum dibuang oleh sistem adalah 80 detik, yang dalam praktiknya jarang tercapai karena balasan ACK umumnya diterima dalam hitungan milidetik selama jalur UART berfungsi normal.

Hasil Pengujian Sensor Gas MQ-2

Sensor MQ-2 bekerja berdasarkan prinsip chemiresistive, memanfaatkan lapisan tin dioxide (SnO₂) yang dipanaskan oleh elemen pemanas internal, sehingga keberadaan gas mudah terbakar akan menurunkan resistansi lapisan sensor secara proporsional terhadap konsentrasi gas. Program membaca nilai gas menggunakan rata-rata bergerak (*moving average*) dari lima sampel yang diperbarui setiap 100 milidetik, serta menerapkan histeresis pada penetapan ambang batas untuk mencegah perubahan status berulang (*flickering*): status Waspada dipicu saat nilai ADC

mencapai 500 dan pulih ke Normal saat nilai ADC stabil di bawah 450, sedangkan status Bahaya dipicu pada nilai 1.000 dan pulih pada nilai di bawah 900.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Gas MQ-2

No	Nilai ADC Terukur	Status Sistem
1	< 450	Normal
2	500 - 999	Waspada (Gas Meningkat)
3	≥ 1000	Bahaya

Hasil Pengujian Sensor Flame

Sensor flame memanfaatkan fotodiode inframerah yang peka terhadap radiasi pada panjang gelombang 760-1.100 nm, yaitu spektrum inframerah yang dipancarkan oleh nyala api. Ketika intensitas radiasi inframerah yang diterima melebihi ambang batas, keluaran digital sensor berubah dari HIGH menjadi LOW (*active LOW*), yang oleh program dibaca sebagai indikasi api terdeteksi. Waktu konfirmasi (*debounce*) yang diterapkan pada sensor ini dibuat relatif singkat, yaitu 300 milidetik, untuk mengonfirmasi keabsahan sinyal api sekaligus menyaring derau atau kilatan cahaya sesaat.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor Flame

No	Kondisi	Status Sistem
1	Tidak ada api	Aman
2	Ada api	Bahaya

Hasil Pengujian Tegangan Komponen

Pengujian tegangan dilakukan menggunakan multimeter pada setiap komponen untuk memastikan tegangan kerja berada pada rentang yang sesuai spesifikasi. Sensor MQ-2, sensor flame, dan buzzer pada Unit 1 disuplai langsung dari pin 3,3 V ESP32, sedangkan Unit 2 (ESP32-CAM) disuplai dari sumber 5 V melalui pin VIN karena membutuhkan arus puncak yang lebih besar saat modul Wi-Fi memancar data maupun saat kamera mengambil gambar.

Tabel 4. Hasil Pengujian Tegangan Komponen Unit 1 dan Unit 2

No	Komponen	Rentang Tegangan (V)	Tegangan Terukur (V)	Status
1	ESP32 Unit 1 (pin 3V3)	3,0 - 3,6	3,17	Baik
2	Sensor MQ-2 (dari pin 3V3)	2,8 - 3,6	2,85	Baik
3	Sensor Flame (dari pin 3V3)	3,0 - 3,6	3,03	Baik
4	LCD I2C (VCC)	4,5 - 5,5	4,57	Baik
5	Buzzer (pin kontrol)	3,0 - 3,6	3,10	Baik

No	Komponen	Rentang Tegangan (V)	Tegangan Terukur (V)	Status
6	ESP32-CAM Unit 2 (pin VIN, 5V)	4,75 - 5,25	4,80	Baik

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tegangan pada pin 3V3 ESP32 terukur 2,85 V ketika mencatu sensor MQ-2 dan 3,03 V ketika mencatu sensor flame. Perbedaan ini sejalan dengan karakteristik arus masing-masing sensor, karena MQ-2 memiliki elemen pemanas yang menarik arus lebih besar (dapat mencapai 150 mA) dibandingkan sensor flame yang hanya berupa rangkaian fotodioda dan komparator berarus kecil. Tegangan pin VIN pada Unit 2 terukur sebesar 4,80 V, berada dalam rentang toleransi $5\text{ V} \pm 5\%$ (4,75-5,25 V), yang menunjukkan bahwa catu daya yang digunakan mampu menyuplai ESP32-CAM dengan baik meskipun modul ini memerlukan arus puncak yang cukup besar (dapat mencapai 500-700 mA) saat transmisi Wi-Fi maupun pengambilan gambar.

Hasil Pengujian Komunikasi Antara Unit 1 dan Unit 2

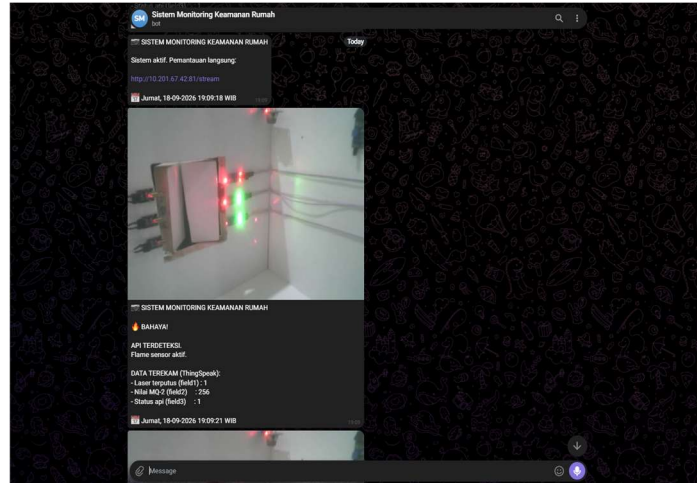
Unit 1 dan Unit 2 berkomunikasi melalui jalur serial (UART) yang bersifat asinkron dua arah pada kecepatan 115200 bps, dengan Unit 1 sebagai pengirim perintah (COMMAND) dan Unit 2 sebagai pengirim balasan (ACK), sehingga keandalan jalur ini menjadi penentu utama apakah notifikasi Telegram dan data ThingSpeak dapat terkirim dengan selaras.

Tabel 5. Hasil Pengujian Komunikasi Antara Unit 1 dan Unit 2

No	Skenario Pengujian	Hasil
1	Handshake BOOT/BOOTOK saat Unit 1 dinyalakan	Berhasil, Unit 2 membalas BOOTOK segera setelah menerima BOOT sehingga penomoran event tersinkron sejak awal
2	Pengiriman COMMAND dan balasan ACK	Berhasil, setiap COMMAND yang dikirim Unit 1 dibalas ACK oleh Unit 2 dengan ID event yang sesuai
3	Pemutusan sesaat kabel UART lalu disambung kembali	Berhasil, event yang sama tetap diterima Unit 2 berkat mekanisme pengiriman ulang setiap dua detik apabila ACK belum diterima

Hasil Pengujian Notifikasi Telegram

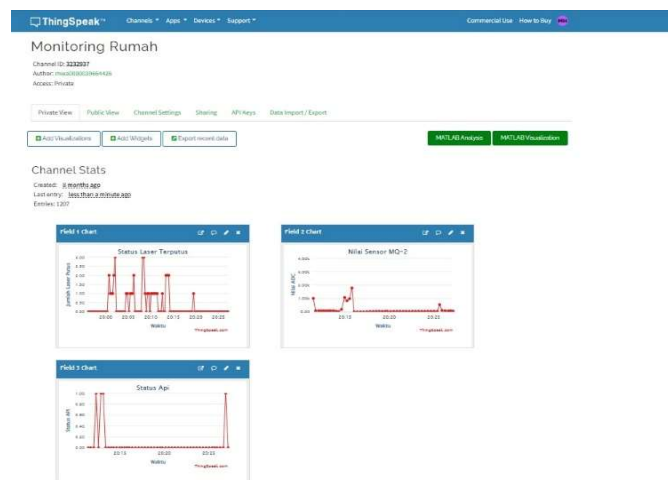
Notifikasi Telegram dipilih sebagai media peringatan utama kepada pengguna karena sifatnya yang instan, dapat diakses dari mana saja selama ada koneksi internet, dan tidak memerlukan aplikasi maupun server tambahan di luar Bot API yang disediakan secara gratis oleh Telegram. Program membedakan dua tingkat kelengkapan pesan: event berisiko tinggi (penyusup, hewan, api, dan gas bahaya) disertai foto dari kamera agar pengguna dapat langsung menilai situasi secara visual, sedangkan event peringatan ringan (laser tunggal dan gas meningkat) cukup berupa pesan teks agar tidak membebani kuota data maupun mengganggu pengguna dengan notifikasi bergambar yang berlebihan.



Gambar 2. Hasil Tampilan Notifikasi Telegram

Hasil Pengujian Platform ThingSpeak

ThingSpeak dipilih sebagai platform IoT cloud karena menyediakan penyimpanan data historis berbasis waktu (time-series) beserta visualisasi grafik secara otomatis tanpa memerlukan basis data maupun server terpisah. Data yang dikirim mengikuti pemetaan tiga field, yaitu jumlah laser terputus (field1), nilai ADC sensor gas (field2), dan status api (field3). Pengujian memastikan data laser, gas, dan status api yang tampil pada grafik ThingSpeak selaras dengan data yang dikirim ke Telegram pada event yang sama, serta memastikan jeda minimal pengiriman 15 detik sesuai batas akun gratis ThingSpeak dipatuhi oleh sistem agar tidak terjadi penolakan permintaan (rate limit) dari server.



Gambar 3. Hasil Tampilan Platform ThingSpeak

Hasil Pengujian Live Streaming Kamera

Fitur live streaming memanfaatkan web server bawaan pustaka esp_camera yang berjalan pada port 81, terpisah dari port default HTTP (port 80), sehingga proses streaming tidak mengganggu proses lain yang berjalan pada ESP32-CAM. Karena alamat IP yang diberikan oleh router bersifat dinamis, tautan streaming hanya dikirim ulang ke Telegram apabila alamat IP benar-benar berbeda dari yang terakhir dikirim, untuk menghindari notifikasi berulang yang tidak perlu. Pengujian memastikan tautan tersebut dikirim ke Telegram hanya ketika alamat IP ESP32-CAM berubah, dan dipastikan tidak dikirim sebelum sinkronisasi waktu (NTP) selesai.



Gambar 4. Hasil Tampilan Live Streaming

Berdasarkan hasil pengujian, sistem yang dibangun mampu: a) mengklasifikasikan gangguan intrusi menjadi empat tingkat kondisi (normal, peringatan, hewan terdeteksi, dan penyusup) melalui tiga jalur sensor laser/LDR; b) membedakan kondisi normal, waspada, dan bahaya pada pembacaan sensor gas MQ-2; c) mendeteksi keberadaan api melalui sensor flame; d) menjaga keselarasan data antara notifikasi Telegram dan grafik ThingSpeak melalui mekanisme antrean event dan balasan ACK antarunit; e) menampilkan status sistem secara lokal melalui LCD dan buzzer; serta f) menyediakan live streaming kamera yang tautannya diperbarui secara otomatis mengikuti perubahan alamat IP. Integrasi antara sensor masukan, mekanisme debounce dan histeresis, komunikasi antarunit yang andal, serta keluaran lokal dan cloud telah membentuk satu kesatuan sistem keamanan rumah berbasis IoT yang bekerja secara real-time dan saling selaras antarbagian, sehingga ketiga tujuan penelitian telah tercapai.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian, Prototipe Sistem Monitoring dan Peringatan Dini Bahaya Maling dan Kebakaran Berbasis IoT dengan dua unit ESP32 berkomunikasi via UART dan dicatu baterai litium telah berhasil dibangun sesuai tujuan penelitian: sensor laser/LDR mengklasifikasikan gangguan ke empat tingkat kondisi dengan debounce satu detik, sensor gas MQ-2 membedakan kondisi normal-waspada-bahaya melalui rata-rata bergerak dan histeresis, sensor flame mendeteksi api dalam 300 milidetik, seluruh komponen bekerja dalam rentang tegangan toleransi (2,85–4,57 V untuk Unit 1; 4,80 V untuk Unit 2), dan komunikasi UART, notifikasi Telegram, ThingSpeak, serta live streaming berfungsi baik dan selaras, sehingga sistem ini terbukti dapat menjadi alternatif keamanan rumah berbasis PIR. Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan penambahan buffer/local logging saat koneksi terputus, fitur kendali jarak jauh via Telegram, sensor getaran pada pintu/jendela, pengujian jangka panjang terhadap stabilitas Wi-Fi dan drift sensor gas, dashboard mobile yang lebih ringkas, pemantauan tegangan baterai litium dengan notifikasi baterai lemah beserta modul pengisian daya berproteksi overcharge/overdischarge, dan mekanisme tunneling/port forwarding agar live streaming dapat diakses dari luar jaringan lokal.

DAFTAR PUSTAKA

- Anis, Y., Mukti, A. B., & Rosyid, A. N. (2023). Penerapan Model Waterfall Dalam Pengembangan Sistem Informasi Aset Destinasi Wisata Berbasis Website. *KLIK: Kajian Ilmiah Informatika Dan Komputer*, 4(2), 1134–1142.
- Bachtiar, A. H., Surya, P. P., & Astutik, R. P. (2022). Rancang Bangun Dual Keamanan Sistem Pintu Rumah Menggunakan Pengenalan Wajah Dan Sidik Jari Berbasis IoT (Internet of Things). *Jurnal POLEKTRO: Jurnal Power Elektronik*, 11(1), 102–107.
- Kuncoro, W., Maulindar, J., & Indah, R. P. (2023). Monitoring Peringatan Dini Kebakaran Pada

- Sistem Smart Home Menggunakan Nodemcu Berbasis Iot. *Generation Journal*, 7(2), 105–115.
- Nababan, S. H., Yuliendi, R. R., & Yandri. (2024). Sistem keamanan ruangan menggunakan sensor PIR dan modul GSM SIM berbasis Arduino Uno. *Jurnal Mahasiswa Aplikasi Teknologi Komputer dan Informasi*, 6(1), 70–79.
- Pusiknas Bareskrim Polri. (2025, 30 Desember). Refleksi akhir tahun: Data kepolisian dan tantangan penegakan hukum.
- Putra, R. D., & Mukhaiyar, R. (2022). Perancangan Sistem Pemantau Keamanan Rumah dengan Sensor PIR Dan Kamera Berbasis Mikrokontroler dan *Internet of Things* (IoT). *Ranah Research: Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 4(2), 201–209.
- Rumere, S., & Manullang, E. V. (2024). Rancang Bangun Sistem Keamanan Rumah Berbasis Internet of Things (Iot) Dengan Menggunakan Sensor PIR dan ESP32-CAM. *Jurnal Teknologi Informasi (JTI)*, 12(1), 9–16.
- Sulaeman, D. (2022). Sistem Keamanan Rumah Dengan Konsep Internet Of Thing (Iot) Berbasis Arduino. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 6(3), 17222–17228.
- Zikri, M. Z. A., Apdilah, D., Azhari, D. T., & Kusniadi, H. (2026). Implementasi Alat Pendeteksi Pencuri Berbasis IoT menggunakan ESP32 dan Sensor Magnet Untuk Keamanan Rumah. *Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Riset Pendidikan*, 4(3), 19436–19441.