

RANCANG BANGUN SISTEM PENDETEKSI GERAKAN UNTUK KEAMANAN RUMAH BERBASIS IOT MENGGUNAKAN SENSOR PIR DAN METODE FUZZY LOGIC DENGAN NOTIFIKASI TELEGRAM

Elfredo Yustrada Bomantoro, Basuki Rahmat, Henni Endah Wahanani

Informatika, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Jl. Rungkut Madya, Gunung Anyar, Surabaya, Indonesia

19081010162@student.upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) mendorong terciptanya sistem keamanan rumah yang lebih cerdas dan efisien. Tingginya angka kejahatan pencurian rumah dan keterbatasan sistem konvensional yang tidak mampu memberikan notifikasi secara real-time menjadi permasalahan utama penelitian ini. Penelitian bertujuan merancang dan membangun sistem pendeteksi gerakan berbasis IoT menggunakan sensor PIR HC-SR501 dan ESP32-CAM dengan notifikasi Telegram, serta mengimplementasikan metode Fuzzy Logic Simplified Mamdani untuk klasifikasi tingkat ancaman. Metode yang digunakan adalah metode prototype yang meliputi analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, dan pengujian sistem. Fuzzy Logic mengklasifikasikan ancaman ke dalam tiga kategori—Aman, Waspada, dan Bahaya—berdasarkan nilai akumulasi *motionLevel* pada rentang 0 hingga 10. Hasil pengujian menunjukkan sensor PIR mampu mendeteksi gerakan dengan keberhasilan 96% dari 25 percobaan (100% pada jarak 1–4 m; 80% pada 5 m). Fuzzy Logic mengklasifikasikan seluruh skenario dengan akurasi 100% dan false alarm 0%. Notifikasi Telegram terkirim rata-rata 2.050 ms pada koneksi WiFi stabil, disertai dua frame foto sebagai bukti visual ancaman. Sistem terbukti responsif dan layak sebagai solusi keamanan rumah berbasis IoT yang terjangkau.

Kata kunci: Internet of Things (IoT), Fuzzy Logic, Sensor PIR, Sistem Keamanan Rumah, Notifikasi Real-Time

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pada era Revolusi Industri 4.0 mendorong integrasi *Internet of Things* (IoT), kecerdasan buatan, dan teknologi digital ke dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk sistem keamanan rumah [1]. IoT memungkinkan perangkat fisik saling terhubung, berbagi data, serta mengambil keputusan secara otomatis melalui jaringan internet, sehingga membuka peluang pengembangan sistem keamanan yang lebih cerdas, efisien, dan dapat dipantau secara *real-time* [2] [3].

Keamanan rumah merupakan kebutuhan fundamental masyarakat. Namun berdasarkan laporan Kepolisian Negara Republik Indonesia, kasus pencurian rumah mencakup sekitar 20–30% dari total tindak kejahatan yang dilaporkan setiap tahun [4] [5]. Sistem keamanan konvensional seperti gembok dan kunci mekanis memiliki keterbatasan signifikan, yaitu tidak mampu memberikan peringatan secara *real-time* kepada pemilik rumah saat insiden terjadi [6] [7].

Sensor *Passive Infrared Receiver* (PIR) menjadi solusi alternatif yang menarik karena lebih terjangkau, hemat daya, dan mudah diintegrasikan dengan sistem IoT. Ketika dihubungkan dengan Telegram Bot API, sensor PIR dapat mengirimkan notifikasi *real-time* beserta foto kepada pemilik rumah [8]. Namun, sistem PIR konvensional tanpa pengolahan lanjutan masih rentan terhadap *false alarm* akibat pergerakan objek selain manusia, seperti hewan kecil atau perubahan cahaya mendadak [9]. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem berbasis PIR dengan notifikasi SMS maupun Telegram, namun belum secara optimal mengatasi permasalahan *false*

alarm melalui kecerdasan buatan. Kesenjangan inilah yang menjadi dasar penelitian ini.

Penelitian ini bertujuan: (1) merancang dan membangun sistem pendeteksi gerakan menggunakan sensor PIR HC-SR501 berbasis IoT dengan notifikasi Telegram; dan (2) mengimplementasikan metode *Fuzzy Logic Simplified Mamdani* untuk mengklasifikasikan tingkat ancaman ke dalam kategori Aman, Waspada, dan Bahaya berdasarkan nilai akumulasi *motionLevel* [10] [11]. Penerapan metode ini diharapkan meningkatkan akurasi deteksi sekaligus menekan tingkat *false alarm* dibandingkan sistem PIR konvensional.

Secara teoritis, penelitian ini menjadi referensi pengembangan sistem keamanan berbasis IoT dengan kecerdasan buatan. Secara praktis, sistem membantu pemilik rumah memantau kondisi keamanan dari jarak jauh secara *real-time* dengan biaya terjangkau. Batasan masalah penelitian ini meliputi: (1) satu sensor PIR HC-SR501 dengan jangkauan deteksi ± 1 –5 meter; (2) sistem hanya mendeteksi gerakan tanpa identifikasi jenis objek; (3) *Fuzzy Logic* berbasis nilai *motionLevel* tanpa fungsi keanggotaan matematis kompleks; (4) pengambilan foto statis pada kondisi Waspada dan Bahaya, tanpa perekaman video; (5) notifikasi Telegram bergantung pada koneksi internet; serta (6) pengujian dilakukan di lingkungan *indoor* yang terkontrol [12].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Pada penelitian [1] dikembangkan sistem pendeteksi gerakan menggunakan sensor PIR dengan

notifikasi SMS berbasis Arduino Uno. Sistem berhasil mendeteksi gerakan dan mengirimkan pesan teks kepada pemilik rumah, namun tidak dilengkapi dokumentasi visual dan bergantung pada jaringan GSM.

Pada penelitian [5] dikembangkan sistem keamanan rumah dengan sensor PIR, notifikasi Telegram, dan catu daya PLTS. Penelitian tersebut membuktikan bahwa integrasi Telegram memberikan notifikasi yang lebih cepat dibandingkan SMS, namun belum menerapkan metode kecerdasan buatan untuk klasifikasi ancaman.

Pada penelitian [6] diimplementasikan metode *Fuzzy Logic* pada sistem keamanan pintu rumah menggunakan sensor RFID dan PIR berbasis IoT. Penerapan *Fuzzy Logic* berhasil meningkatkan akurasi klasifikasi ancaman, namun sistem tidak dilengkapi kemampuan pengambilan foto otomatis.

Pada penelitian [11] dikembangkan sistem keamanan pintu otomatis berbasis IoT dengan teknologi RFID dan metode *Fuzzy Simplified Mamdani*. Penelitian ini membuktikan efektivitas *Simplified Mamdani* dalam pengambilan keputusan berlapis pada sistem keamanan IoT.

2.2. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah paradigma jaringan di mana objek fisik dilengkapi sensor, aktuator, dan konektivitas internet sehingga dapat saling berkomunikasi dan dikendalikan dari jarak jauh. Dalam konteks sistem keamanan rumah, IoT memungkinkan integrasi sensor, kamera, dan platform komunikasi dalam satu ekosistem yang terkoneksi [7].

2.3. Sensor PIR HC-SR501

Sensor *Passive Infrared* (PIR) HC-SR501 mendeteksi perubahan radiasi inframerah dalam jangkauannya. Sensor ini bekerja secara pasif tanpa memancarkan sinyal apapun, sehingga konsumsi dayanya rendah. Sudut deteksi sensor mencapai 70° dengan jangkauan hingga 7 meter, dan dilengkapi dua potensiometer untuk mengatur sensitivitas jarak dan durasi output *High* [8].

2.4. ESP32-CAM

ESP32-CAM adalah modul mikrokontroler yang mengintegrasikan chip ESP32-S dengan kamera OV2640, antena WiFi internal, dan memori PSRAM dalam satu unit kompak. Kemampuan pemrosesan dual-core 240 MHz, konektivitas WiFi 802.11 b/g/n, dan kamera yang dapat dikonfigurasi menjadikan ESP32-CAM solusi yang efisien untuk sistem IoT berbasis visi komputer [10].

2.5. Fuzzy Logic Simplified Mamdani

Fuzzy Logic merupakan metode pengambilan keputusan yang mampu menangani ketidakpastian dan gradasi nilai antara dua kondisi ekstrem. Metode *Simplified Mamdani* menggunakan fungsi keanggotaan *step function* yang sederhana namun

efektif, terdiri dari tiga tahapan: *fuzzifikasi* (pemetaan nilai crisp ke himpunan fuzzy), *inference* (evaluasi aturan *if-then*), dan *defuzzifikasi* (penentuan output crisp berdasarkan himpunan hasil) [6] [12].

3. METODE PENELITIAN

3.1. Metode Pengembangan

Penelitian ini menggunakan metode *prototype* yang terdiri dari lima tahapan: (1) *Communication Process* — analisis kebutuhan sistem bersama pemangku kepentingan; (2) *Quick Plan* — perencanaan cepat meliputi pemilihan komponen dan arsitektur sistem; (3) *Modelling Quick Design* — perancangan skematik rangkaian dan diagram alur sistem; (4) *Construction of Prototype* — implementasi perangkat keras dan perangkat lunak; (5) *Delivery and Feedback* — pengujian sistem dan evaluasi berdasarkan hasil uji.

3.2. Kebutuhan Perangkat Keras

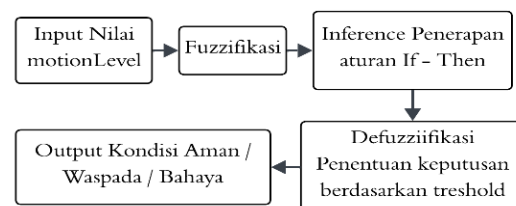
Komponen perangkat keras yang digunakan pada sistem ini meliputi: (1) modul ESP32-CAM AI Thinker dengan kamera OV2640 sebagai unit pemrosesan tunggal; (2) sensor PIR HC-SR501 yang terhubung pada GPIO 13; (3) buzzer aktif *active LOW* yang terhubung pada GPIO 14; dan (4) flash LED bawaan ESP32-CAM pada GPIO 4. Konfigurasi pin ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Konfigurasi Pin Sistem

Komponen	GPIO	Keterangan
Sensor PIR HC-SR501	GPIO 13	Input digital
Buzzer	GPIO 14	Active LOW
Flash LED	GPIO 4	Output HIGH
Kamera OV2640	Internal	FRAMESIZE_VGA

3.3. Perancangan Fuzzy Logic Simplified Mamdani

Variabel input sistem *Fuzzy Logic* adalah *motionLevel*, yaitu nilai akumulasi intensitas gerakan bertipe float pada rentang 0,00 hingga 10,00. Variabel ini diperbarui setiap siklus sampling 200 ms berdasarkan pembacaan sensor PIR. Mekanisme pembaruan *motionLevel* menggunakan dua laju *increment* berbeda: +0,25 per siklus saat *motionLevel* < 7 dan +0,50 per siklus saat *motionLevel* ≥ 7, serta *decay* -0,50 per siklus saat tidak ada gerakan.



Gambar 1. Diagram alur *fuzzy logic simplified mamdani*

Tiga himpunan fuzzy didefinisikan berdasarkan nilai *motionLevel*: (1) Aman, saat *motionLevel* = 0; (2) Waspada, saat $3,50 \leq \text{motionLevel} < 7,00$; (3) Bahaya, saat *motionLevel* $\geq 7,00$. Rentang $0 < \text{motionLevel} < 3,50$ didefinisikan sebagai zona *buffer* yang berfungsi menyaring gangguan singkat. Parameter konfigurasi Fuzzy Logic disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Konfigurasi Fuzzy Logic

No	Parameter	Nilai	Keterangan
1	<i>motionLevel</i>	0,0 – 10,0	Variabel input Fuzzy
2	Increment (zona ringan)	+ 0,25	$\text{motionLevel} < 7$
3	Increment (zona intens)	+ 0,50	$\text{motionLevel} \geq 7$
4	Decay	- 0,50	PIR = LOW
5	Threshold Waspada	$\geq 3,50$	~2,8 detik gerakan
6	Threshold Bahaya	$\geq 7,00$	~5,6 detik gerakan
7	Cooldown Bahaya	15.000 ms	Setelah aksi darurat

Aturan *if-then* Fuzzy Logic Simplified Mamdani yang diterapkan adalah: R1: IF *motionLevel* = 0 THEN kondisi = Aman; R2: IF *motionLevel* $\geq 3,50$ AND $< 7,00$ THEN kondisi = Waspada; R3: IF *motionLevel* $\geq 7,00$ THEN kondisi = Bahaya. Implementasi dalam C/C++ menggunakan struktur kondisional *if-else* bertingkat yang merepresentasikan tahapan fuzzifikasi, inference, dan defuzzifikasi secara eksplisit.

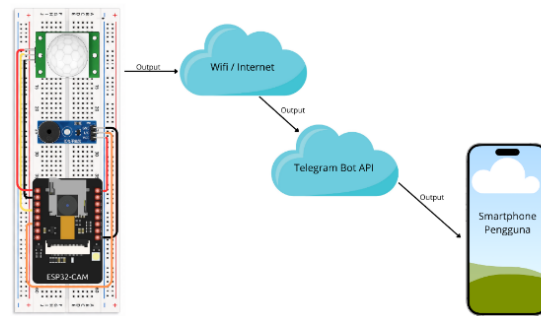
3.4. Mekanisme Notifikasi Telegram

Komunikasi dengan Telegram Bot API dilakukan melalui protokol HTTPS. Fungsi *sendMessage()* menggunakan HTTP GET untuk pengiriman pesan teks, sedangkan fungsi *sendPhotoTelegram()* menggunakan HTTP multipart POST untuk pengiriman foto langsung dari buffer kamera ke server api.telegram.org:443 tanpa library tambahan. Pada kondisi Bahaya, sistem mengirim notifikasi teks segera diikuti dua frame foto dengan jeda 200 ms, flash LED aktif 300 ms, dan buzzer aktif 5 detik. Pada kondisi Waspada, sistem menerapkan *delayed notification* — notifikasi teks dikirimkan satu kali saat *motionLevel* kembali ke 0.

3.5. Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem terdiri dari tiga lapisan utama: (1) lapisan persepsi — sensor PIR HC-SR501 sebagai pengindera gerakan dan kamera OV2640 sebagai pengindera visual; (2) lapisan pemrosesan — ESP32-CAM yang menjalankan algoritma Fuzzy Logic, pengendalian aktuatur (buzzer dan flash LED), serta manajemen koneksi WiFi; (3) lapisan aplikasi — Telegram Bot API sebagai platform notifikasi yang dapat diakses pengguna melalui smartphone. Seluruh fungsi pemrosesan, komunikasi, dan pengendalian

dijalankan pada satu unit ESP32-CAM tanpa komponen mikrokontroler tambahan.



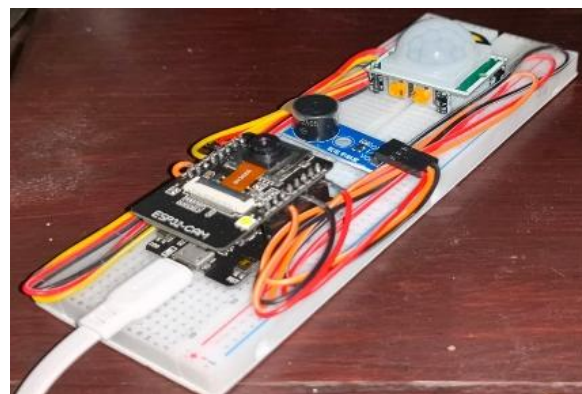
Gambar 2. Arsitektur sistem keamanan rumah berbasis IoT

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Komponen

Pengujian komponen dilakukan secara individual sebelum integrasi untuk memastikan setiap perangkat keras berfungsi sesuai spesifikasi. Sensor PIR HC-SR501 diuji pada tujuh parameter meliputi output digital, waktu pemanasan (*warm-up time*), sensitivitas potensiometer, dan tegangan output. Seluruh parameter menunjukkan hasil berhasil, termasuk tegangan output *High* sebesar 3,28 V yang kompatibel dengan logika GPIO ESP32-CAM, serta waktu pemanasan sekitar 45 detik sesuai spesifikasi datasheet.

Buzzer diuji pada tujuh parameter meliputi respons terhadap sinyal kontrol, durasi aktivasi, dan jangkauan suara. Sistem berhasil mengaktifkan buzzer selama tepat 5 detik dengan intensitas suara terukur 80 dB pada jarak 1 meter, 65 dB pada 3 meter, dan 55 dB pada 5 meter. Kamera ESP32-CAM diuji pada delapan parameter. Ukuran file foto rata-rata 30–50 KB per frame pada resolusi *FRAMESIZE_VGA* (640×480) dengan *jpeg_quality* = 8. Frame kedua secara konsisten menghasilkan kualitas lebih baik karena mekanisme *auto-exposure* OV2640. Koneksi WiFi dan Telegram Bot menunjukkan stabilitas 100% selama pengujian kontinu 1 jam.



Gambar 3. Hasil pengimplementasian perancangan IoT

4.2. Hasil Pengujian Jarak Deteksi

Pengujian jarak deteksi sensor PIR dilakukan pada lima variasi jarak dari 1 hingga 5 meter, masing-masing sebanyak 5 percobaan dengan objek uji manusia melakukan gerakan berjalan dan mengayunkan tangan. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Jarak Deteksi PIR

No	Jarak	Output Aktual	Status	Berhasil
1	1 m	Deteksi dalam 0,2 dtk, motionLevel naik stabil	Berhasil	5/5
2	2 m	Deteksi dalam 0,4 dtk, motionLevel naik stabil	Berhasil	5/5
3	3 m	Deteksi dalam 0,4 dtk, motionLevel naik konsisten	Berhasil	5/5
4	4 m	Deteksi dalam 0,6 dtk, respons sedikit lebih lambat	Berhasil	5/5
5	5 m	Deteksi pada 4 dari 5 percobaan (1 gagal di tepi sudut)	Berhasil	4/5

Berdasarkan Tabel 3, sensor PIR mampu mendeteksi gerakan dengan keberhasilan 100% pada jarak 1–4 meter. Pada jarak 5 meter yang merupakan batas maksimum jangkauan, tingkat keberhasilan sebesar 80% masih memadai untuk implementasi dalam ruangan. Penurunan akurasi pada jarak 5 meter disebabkan oleh melemahnya intensitas radiasi inframerah yang diterima sensor, sesuai karakteristik teknis HC-SR501. Rata-rata tingkat keberhasilan keseluruhan mencapai 96% dari 25 total percobaan.

4.3. Hasil Pengujian Akurasi Fuzzy Logic

Pengujian akurasi *Fuzzy Logic Simplified Mamdani* dilakukan pada lima skenario yang mencakup seluruh kondisi sistem. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.

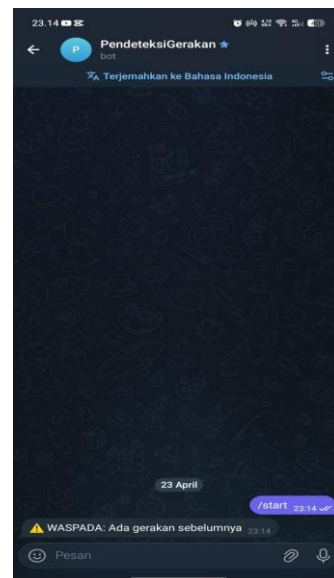
Tabel 4. Hasil Pengujian Akurasi Fuzzy Logic

No	Skenario	motionLevel	Kondisi Aktual	Status
1	Tidak ada gerakan	0	Aman	Berhasil
2	Gerakan singkat (<2 dtk)	2,25	Aman (buffer)	Berhasil
3	Gerakan sedang (>3 dtk)	5,25	Waspada	Berhasil
4	Gerakan intens (>7 dtk)	8,50	Bahaya	Berhasil
5	Berhenti setelah Waspada	0 (dari Waspada)	Aman (delayed)	Berhasil

Tabel 4 menunjukkan bahwa *Fuzzy Logic Simplified Mamdani* berhasil mengklasifikasikan seluruh lima skenario dengan tepat (akurasi 100%). Skenario 2 membuktikan efektivitas zona *buffer* dalam menyaring gerakan singkat — *motionLevel* hanya mencapai 2,25 tanpa memicu notifikasi. Skenario 4 menunjukkan gerakan intens berhasil mendorong *motionLevel* hingga 8,50 dan memicu seluruh aksi darurat secara lengkap. Skenario 5 memvalidasi mekanisme *delayed notification* yang bekerja dengan benar.

4.4. Hasil Pengujian Waktu Respons dan False Alarm

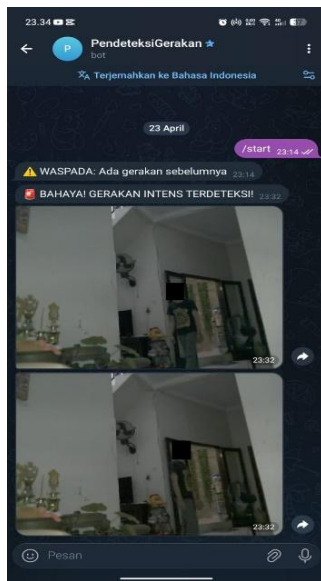
Pengujian waktu respons menunjukkan bahwa pada kondisi WiFi stabil, total waktu respons rata-rata untuk notifikasi Bahaya adalah 2.050 ms (200 ms deteksi + 1.850 ms pengiriman teks dan 2 foto). Pada kondisi WiFi tidak stabil, waktu respons meningkat menjadi 4.520 ms namun notifikasi tetap berhasil terkirim. Pengujian ketahanan *false alarm* pada enam skenario gangguan — gerakan hewan kecil, getaran mekanis, perubahan cahaya mendadak, serta variasi kondisi pencahayaan — menunjukkan hasil 0% *false alarm*. Mekanisme zona *buffer* terbukti efektif menyaring seluruh gangguan lingkungan.



Gambar 4. Tampilan notifikasi kondisi waspada pada aplikasi telegram

Gambar 4. memperlihatkan tampilan antarmuka aplikasi Telegram pada perangkat smartphone pengguna saat menerima notifikasi kondisi Waspada dari bot PendeteksiGerakan. Pengujian dilaksanakan pada tanggal 23 April pukul 23.14 WIB. Terlihat bahwa pengguna mengawali sesi pemantauan dengan mengirimkan perintah `/start` kepada bot pada pukul 23.14 WIB, dan sistem langsung merespons dengan mengirimkan pesan teks peringatan "⚠️ WASPADA: Ada gerakan sebelumnya" pada waktu yang sama.

Pesan ini merupakan implementasi mekanisme delayed notification pada kondisi Waspada, yaitu notifikasi tidak dikirimkan saat gerakan masih berlangsung, melainkan dikirimkan satu kali setelah nilai *motionLevel* kembali turun ke kondisi Aman (*motionLevel* = 0). Mekanisme ini dirancang untuk mencegah pengiriman notifikasi berulang (spam) selama gerakan masih terjadi secara kontinu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa fungsi `sendMessage()` melalui protokol HTTPS GET ke server `api.telegram.org` berhasil mengirimkan notifikasi teks dengan waktu respons rata-rata 1.620 ms pada kondisi WiFi stabil, membuktikan bahwa sistem mampu menyampaikan peringatan kepada pengguna secara real-time.



Gambar 5. Tampilan notifikasi kondisi bahaya pada aplikasi telegram

Gambar 5 memperlihatkan tampilan aplikasi Telegram pada *smartphone* pengguna saat menerima notifikasi kondisi Bahaya secara lengkap, beserta dua frame foto hasil tangkapan kamera ESP32-CAM. Pengujian dilaksanakan pada tanggal 23 April pukul 23.32 WIB, selang 18 menit setelah pengujian kondisi Waspada sebelumnya. Tampak pada gambar urutan pesan yang diterima secara berurutan: pertama, pesan teks "BAHAYA! GERAKAN INTENS TERDETEKSI!" yang dikirimkan secara langsung (*immediate notification*) saat nilai *motionLevel* mencapai atau melebihi threshold 7,00; kemudian diikuti oleh dua frame foto yang diambil secara otomatis oleh kamera OV2640 pada waktu yang sama, yaitu pukul 23.32 WIB. Terdapat area yang disamarkan (*blur*) pada foto untuk menjaga privasi subjek.

Kedua foto menampilkan sudut ruangan dari posisi kamera ESP32-CAM yang mengarah ke area pemantauan dengan pencahayaan yang memadai. Hasil pengujian waktu respons menunjukkan bahwa pada kondisi WiFi stabil, total waktu respons rata-rata

untuk notifikasi Bahaya adalah 2.050 ms, yang terdiri dari 200 ms waktu deteksi sensor PIR dan 1.850 ms proses pengiriman pesan teks beserta dua frame foto. Pada kondisi WiFi tidak stabil, waktu respons meningkat menjadi 4.520 ms, namun notifikasi tetap berhasil terkirim tanpa kehilangan data. Pengujian ketahanan *false alarm* pada enam skenario gangguan lingkungan — meliputi gerakan hewan kecil, getaran mekanis, perubahan cahaya mendadak, serta variasi kondisi pencahayaan — menunjukkan hasil 0% *false alarm*. Keberhasilan ini membuktikan bahwa mekanisme zona *buffer* pada rentang $0 < motionLevel < 3,50$ terbukti efektif menyaring seluruh gangguan lingkungan tanpa mengorbankan sensitivitas deteksi terhadap ancaman nyata.

4.5. Validasi Sistem

Validasi sistem dilakukan terhadap delapan poin kebutuhan dan tujuan penelitian dengan metode *requirement-based validation*. Seluruh poin dinyatakan Valid dengan tingkat keberhasilan 100%. Validasi parameter input *Fuzzy Logic* pada delapan aspek — meliputi rentang nilai *motionLevel*, laju *increment/decay*, serta konsistensi *threshold* — juga menunjukkan seluruh parameter Valid. Nilai *threshold* Waspada (3,50) secara konsisten tercapai pertama kali pada siklus ke-14 (2,8 detik), dan *threshold* Bahaya (7,00) pada siklus ke-28 (5,6 detik), tanpa masalah presisi numerik *floating point* pada ESP32-CAM.

Rangkuman seluruh hasil pengujian disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rangkuman Hasil Pengujian Sistem

No	Parameter Pengujian	Hasil	Keterangan
1	Pengujian Komponen Individual	100%	4 komponen lolos
2	Jarak Deteksi Sensor PIR	96% (24/25)	Efektif 1–4 m; menurun 5 m
3	Akurasi Fuzzy Logic	100% (5/5)	Semua klasifikasi tepat
4	Waktu Respons (WiFi stabil)	2.050 ms	Termasuk 2 frame foto
5	Ketahanan False Alarm	0% false alarm	Zona buffer efektif
6	Stabilitas Koneksi (1 jam)	100% stabil	Tanpa disconnect
7	Validasi Sistem (16 poin)	100% Valid	8 + 8 poin

4.6. Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi sensor PIR HC-SR501, ESP32-CAM, dan metode *Fuzzy Logic* Simplified Mamdani menghasilkan sistem keamanan rumah berbasis IoT yang responsif dan andal. Kontribusi utama penerapan *Fuzzy Logic* terlihat pada kemampuan sistem mereduksi *false alarm* hingga 0%, dibandingkan sistem PIR konvensional tanpa pengolahan lanjutan yang rentan terhadap *false alarm* akibat gangguan lingkungan [4]. Hal ini sejalan dengan temuan Setya

(2023) yang menyatakan bahwa *Fuzzy Logic* meningkatkan akurasi klasifikasi ancaman pada sistem keamanan IoT [6].

Penggunaan ESP32-CAM sebagai unit pemrosesan tunggal yang mengintegrasikan mikrokontroler, kamera, dan WiFi menjadi keunggulan desain sistem ini dari sisi efisiensi dan biaya. Kemampuan pengiriman foto otomatis saat kondisi Bahaya memberikan nilai tambah berupa dokumentasi visual ancaman yang tidak tersedia pada sistem berbasis notifikasi SMS [1] [2]. Mekanisme *delayed notification* pada kondisi Waspada merupakan inovasi yang mencegah *spam* notifikasi kepada pengguna, memastikan setiap kejadian Waspada hanya menghasilkan satu notifikasi.

Keterbatasan sistem yang perlu diperhatikan adalah: (1) cakupan area pemantauan terbatas pada satu sensor PIR dengan sudut deteksi 70°; (2) kinerja bergantung pada stabilitas koneksi internet; (3) kualitas foto kurang optimal pada kondisi gelap di luar jangkauan flash LED (>2 meter); (4) pengujian hanya dilakukan dalam lingkungan indoor yang terkontrol.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Sistem pendeteksi gerakan untuk keamanan rumah berbasis IoT dengan sensor PIR HC-SR501, ESP32-CAM, dan metode *Fuzzy Logic* Simplified Mamdani berhasil dirancang dan dibangun sesuai seluruh tujuan penelitian. Sensor PIR mencapai tingkat keberhasilan deteksi 96% dari 25 percobaan (100% pada jarak 1–4 m; 80% pada 5 m). *Fuzzy Logic* berhasil mengklasifikasikan kondisi Aman, Waspada, dan Bahaya dengan akurasi 100% serta *false alarm* 0% dari enam skenario gangguan. Notifikasi Telegram terkirim rata-rata 2.050 ms pada WiFi stabil disertai dua frame foto otomatis. Validasi sistem membuktikan 16 dari 16 poin kebutuhan terpenuhi (100% valid). Untuk penelitian selanjutnya, disarankan penambahan sensor PIR multi-arah untuk memperluas cakupan pemantauan, pengembangan mekanisme penyimpanan lokal sebagai *fallback* saat koneksi internet tidak tersedia, serta pengujian pada lingkungan *outdoor* dengan variasi kondisi yang lebih dinamis dan penerapan *Fuzzy Logic* Type-2 untuk menangani ketidakpastian ganda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Ruuhwan, R. Rizal, and R. Kurniawan, "Pendeteksi Gerakan Menggunakan Sensor PIR untuk Sistem Keamanan di Ruang Kamar Berbasis SMS," *J. Inform. Univ. Pamulang*, vol. 5, no. 3, p. 281, 2020.
- [2] S. T. Setianto, "Rancang Bangun Sistem Keamanan Rumah Menggunakan Sensor PIR dan SMS GSM Berbasis Arduino," *J. Fis. Otomatis*, vol. 1, no. 1, pp. 30–36, 2022.
- [3] H. Tempongputa, E. K. Allo, and S. R. U. A. Sompie, "Rancang Bangun Sistem Keamanan Rumah Menggunakan Sensor PIR (Passive Infrared) dan SMS Sebagai Notifikasi," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 4, no. 6, pp. 10–15, 2015.
- [4] A. Mubarak, I. Sofyan, A. A. Rismayadi, and I. Najiyah, "Sistem Keamanan Rumah Menggunakan RFID, Sensor PIR dan Modul GSM Berbasis Mikrokontroler," *J. Inform.*, vol. 5, no. 1, pp. 137–144, 2018.
- [5] H. M. Syaban, T. Mufizar, and R. Ruuhwan, "Rancang Bangun Alat Keamanan Rumah Menggunakan Sensor PIR dengan Notifikasi Telegram Berbasis IoT dan Catu Daya PLTS," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 2, 2024.
- [6] P. Setya, "Implementasi Metode Fuzzy Logic pada Sistem Keamanan Pintu Rumah Menggunakan Sensor RFID dan Sensor PIR Berbasis Internet of Things," Skripsi, Universitas Semarang, Semarang, 2023.
- [7] A. W. Adi and F. Kurniawan, "Implementasi Keamanan Ruangan Berbasis IoT dengan Sensor PIR, Telegram, dan Peringatan Suara," *J. Appl. Comput. Sci. Technol.*, vol. 5, no. 2, 2024.
- [8] U. F. Al-afifi, E. Syam, I. Bahar, and E. Piter, "Perancangan Simulasi Saklar Otomatis Menggunakan Sensor PIR Berbasis Arduino Berdasarkan Pergerakan Manusia," *Techno (J. Fak. Tek. Univ. Muhammadiyah Purwokerto)*, vol. 22, no. 1, p. 53, 2021.
- [9] S. Siswanto, G. P. Utama, and W. Gata, "Pengamanan Ruangan dengan DFRduino Uno R3, Sensor MC-38, PIR, Notifikasi SMS, Twitter," *J. RESTI (Rekayasa Sist. dan Teknol. Inf.)*, vol. 2, no. 3, pp. 697–707, 2018.
- [10] M. R. Hidayat, C. Christiono, and B. S. Sapudin, "Perancangan Sistem Keamanan Rumah Berbasis IoT dengan NodeMCU ESP8266 Menggunakan Sensor PIR HC-SR501 dan Sensor Smoke Detector," *Kilat*, vol. 7, no. 2, pp. 139–148, 2018.
- [11] H. Asysyauqi, M. F. Andriansyah, L. N. Ulla, and A. Sucipto, "Sistem Keamanan Pintu Otomatis Berbasis IoT dengan Teknologi RFID dan Aplikasi Mobile Menggunakan Metode Fuzzy Simplified Mamdani," *J. Tek. Inform.*, 2025.
- [12] H. Antony et al., "Sistem Otomasi Rumah Berbasis Logika Fuzzy Menggunakan Arduino Uno R3," *J. Temat.*, vol. 5, no. 1, pp. 17–25, 2017.