

Sistem Deteksi Dan Monitoring Jendela Rumah Berbasis Sensor Magnetik Dengan Logika Fuzzy Mamdani

Rino Ariansyah*, Abdul Halim Hasugian

Fakultas Sains dan Teknologi, Ilmu Komputer, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, Indonesia

Email: ^{1,*}rino.ariansyah16@gmail.com, ²abdulhalimhasugian@uinsu.ac.id

Email Penulis Korespondensi: rino.ariansyah16@gmail.com

Submitted 02-02-2026; Accepted 30-04-2026; Published 30-04-2026

Abstrak

Keamanan rumah sering terganggu oleh peringatan palsu karena sistem konvensional hanya mengandalkan logika biner yang tidak mempertimbangkan konteks waktu dan besaran bukaan jendela. Penelitian ini merancang serta mengimplementasikan sistem deteksi dan monitoring jendela berbasis Internet of Things (IoT) yang mengintegrasikan sensor magnetik MC-38 dan sensor ultrasonik HY-SRF05, dengan pemrosesan inferensi menggunakan Logika Fuzzy Mamdani pada mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Sistem dilengkapi modul RTC DS3231 dan mekanisme sinkronisasi NTP untuk menjaga ketepatan waktu, serta menyediakan respons adaptif melalui indikator LED, pola bunyi buzzer, notifikasi Telegram, dan aplikasi mobile berbasis Flutter. Tujuan penelitian adalah menghasilkan keputusan alarm yang kontekstual (Aman, Siaga, Bahaya) untuk mengurangi false alarm tanpa mengorbankan kecepatan respons. Kontribusi utama adalah penerapan pendekatan multi-sensor yang peka waktu (time-aware) dan pemrosesan di edge sehingga sistem mampu menilai tingkat urgensi berdasarkan status fisik jendela, jarak bukaan, dan waktu kejadian. Pengujian dilakukan pada skenario tertutup rapat, bukaan kecil siang hari, bukaan lebar malam hari, serta gangguan akibat angin atau getaran. Hasil uji menunjukkan akurasi keputusan 93,85%, rata-rata error pengukuran ultrasonik 0,63% (selisih < 0,5 cm pada rentang uji), dan latensi notifikasi ke aplikasi serta Telegram rata-rata sekitar 5 detik. Temuan ini membuktikan bahwa integrasi sensor redundan dengan inferensi fuzzy meningkatkan keandalan deteksi intrusi pada jendela rumah pintar.

Kata Kunci: Keamanan Rumah; Internet of Things; Logika Fuzzy Mamdani; Sensor Magnetik; NodeMCU ESP8266

Abstract

Home security is often disrupted by false alarms because conventional systems rely solely on binary logic that does not consider the context of time and the magnitude of window opening. This study designs and implements an Internet of Things (IoT)-based window detection and monitoring system that integrates an MC 38 magnetic sensor and a HY SRF05 ultrasonic sensor, with inference processing using Mamdani Fuzzy Logic on a NodeMCU ESP8266 microcontroller. The system is equipped with a DS3231 RTC module and an NTP synchronization mechanism to maintain timeliness, and provides adaptive responses through LED indicators, buzzer sound patterns, Telegram notifications, and a Flutter-based mobile application. The research objective is to produce contextual alarm decisions (Safe, Alert, Danger) to reduce false alarms without sacrificing response speed. The main contribution is the implementation of a time-aware multi-sensor approach and edge processing so that the system is able to assess the level of urgency based on the physical status of the window, the distance of damage, and the time of the incident. Testing was carried out in tightly closed scenarios, small edits during the day, wide edits at night, and disturbances due to wind or vibration. Test results showed a resolution accuracy of 93.85%, an average ultrasonic measurement error of 0.63% (a difference of <0.5 cm at the test distance), and an average notification latency to the app and Telegram of around 5 seconds. These findings demonstrate that the integration of redundant sensors with fuzzy inference improves intrusion detection evidence in smart home windows.

Keywords: Home Security; Internet of Things; Fuzzy Mamdani Logic; Magnetic Sensor; NodeMCU ESP8266

1. PENDAHULUAN

Keamanan tempat tinggal merupakan salah satu aspek paling fundamental dalam menjaga kualitas hidup masyarakat modern, khususnya di Indonesia yang memiliki tingkat dinamika sosial yang tinggi. Berdasarkan data statistik terkini, kasus pencurian properti masih menjadi jenis kejahatan yang paling mendominasi, dengan tren yang diproyeksikan terus mengalami peningkatan signifikan setiap tahunnya [1]. Sistem pengamanan konvensional yang mengandalkan logika biner sering menghasilkan *false* alarm karena tidak mempertimbangkan konteks waktu dan besaran bukaan jendela. Kondisi ini menurunkan efektivitas sistem dan kenyamanan penghuni. Fenomena ini menuntut adanya transformasi dalam sistem pengamanan rumah, dari yang semula bersifat konvensional dan pasif menjadi sistem yang cerdas, proaktif, dan terintegrasi dengan teknologi digital. Pendekatan *on/off* tidak mampu membedakan kondisi normal (misalnya ventilasi atau bukaan kecil akibat angin) dari ancaman nyata, sehingga rentan memicu *false* alarm dan menurunkan kepercayaan pengguna terhadap sistem keamanan [2].

Untuk mengatasi kelemahan tersebut, solusi yang ditawarkan dalam penelitian ini adalah pengembangan sistem keamanan rumah berbasis *Internet of Things* (IoT) yang menerapkan kecerdasan buatan melalui metode Logika Fuzzy Mamdani. Pemanfaatan teknologi IoT memungkinkan perangkat keamanan untuk saling terhubung dan berkomunikasi secara *real-time*, memberikan fleksibilitas pemantauan jarak jauh yang tidak dimiliki oleh sistem konvensional [3]. Namun, implementasi IoT dalam lingkungan industri maupun rumah tangga juga harus memperhatikan aspek keamanan siber dan privasi data agar tidak menjadi celah kerentanan baru [4]. Oleh karena itu, integrasi sensor yang cerdas menjadi kunci. Dalam penelitian ini, redundansi sensor diterapkan dengan menggabungkan sensor magnetik (*magnetic switch*) untuk mendeteksi status kontak fisik jendela dan sensor ultrasonik untuk mengukur dimensi celah bukaan secara presisi. Data dari kedua sensor ini kemudian diolah menggunakan Logika Fuzzy Mamdani yang mempertimbangkan variabel waktu kejadian melalui modul *Real Time Clock* (RTC). Metode Mamdani dipilih karena kemampuannya dalam

memetakan *input* yang bersifat ambigu menjadi keputusan yang tegas dan intuitif, serta terbukti lebih unggul dalam menangani ketidakpastian dibandingkan metode logika tegas lainnya [5], [6].

Kajian literatur yang komprehensif sangat diperlukan untuk memetakan posisi penelitian ini di antara penelitian-penelitian terdahulu yang sejenis (*state of the art*). Berbagai penelitian menunjukkan efektivitas Logika *Fuzzy* dan sensor ultrasonik dalam aplikasi *monitoring* dan deteksi di beragam sektor. Pada sektor keselamatan publik, Scorpionius dan Yakub (2024) berhasil merancang pendeteksi asap otomatis menggunakan *Fuzzy Mamdani* yang mampu memberikan peringatan dini bahaya kebakaran secara akurat [7]. Senada dengan hal tersebut, Maulana dan Astutik (2024) mengembangkan sistem peringatan dini kebocoran gas LPG berbasis ESP32, di mana logika *fuzzy* digunakan untuk menentukan tingkat bahaya berdasarkan konsentrasi gas [8]. Dalam konteks mitigasi bencana alam, Kamal (2024) mengimplementasikan metode serupa pada prototipe sistem penanganan dini banjir perumahan, yang membuktikan bahwa *fuzzy logic* mampu merespons perubahan *level* air yang dinamis dengan cepat [9]. Selain itu, teknologi sensor ultrasonik yang digunakan dalam penelitian ini juga telah teruji keandalannya dalam mendeteksi ketinggian air pada alat pendeteksi banjir, sebagaimana diteliti oleh Rangga et al. (2021), yang menunjukkan presisi tinggi dalam pengukuran jarak objek [10].

Fleksibilitas Logika *Fuzzy Mamdani* juga terlihat dari banyaknya implementasi di sektor pertanian, peternakan, dan perikanan, yang memiliki karakteristik data lingkungan yang fluktuatif. Utama et al. (2021) menerapkan metode ini untuk memantau suhu tubuh sapi secara *online*, yang membantu peternak dalam deteksi dini kesehatan hewan [11]. Di sektor perunggasan, Fahila et al. (2024) merancang sistem otomatis suhu kandang ayam broiler, di mana *fuzzy logic* berhasil menjaga stabilitas iklim mikro kandang untuk produktivitas optimal [12]. Pada bidang perikanan, metode ini digunakan secara luas untuk manajemen kualitas air, seperti pada budidaya ikan lele yang dilakukan oleh Maulana et al. (2021) [13], pemantauan pH dan suhu pada kolam ikan gabus oleh Fikri et al. (2024) [14], hingga kontrol kualitas air pada tambak udang oleh Putra dan Irawan (2025) [15]. Selain itu, Nigel dan Rahmat (2024) juga memanfaatkan metode *IT2FL (Interval Type-2 Fuzzy Logic)* untuk kontrol nutrisi hidroponik, yang menunjukkan evolusi penerapan logika samar yang semakin kompleks [16]. Penelitian-penelitian ini menegaskan bahwa algoritma *fuzzy* sangat andal dalam mengolah data sensor yang beragam untuk menghasilkan keputusan kontrol otomatis yang presisi.

Selain aplikasi di bidang industri hayati, teknologi sensor dan *fuzzy logic* juga telah banyak diterapkan untuk kebutuhan teknis dan alat bantu manusia. Solikh et al. (2024) mengembangkan tongkat pintar untuk tunanetra menggunakan sensor LiDAR dan *fuzzy logic*, yang membantu pengguna mendeteksi halangan dengan akurasi tinggi [17]. Dalam pemantauan lingkungan hunian, Dwipangga et al. (2024) mengimplementasikan *Fuzzy Mamdani* untuk memonitor kualitas udara dalam ruangan, memastikan kesehatan penghuni dari polutan berbahaya [18]. Sementara itu, Latipah dan Zaenal (2023) menggunakan metode yang sama untuk sistem pendukung keputusan kelayakan air konsumsi, yang sangat krusial bagi kesehatan masyarakat [19]. Keandalan sensor magnetik, yang menjadi komponen utama dalam penelitian ini, juga telah divalidasi dalam berbagai studi. Ramadhani dan Putri (2023) merancang sistem keamanan pintu rumah berbasis IoT menggunakan sensor *reed switch* dan Telegram Bot, yang menjadi referensi dasar bagi pengembangan notifikasi keamanan [20]. Imam et al. (2024) bahkan memanfaatkan prinsip magnetik untuk mendeteksi keberadaan peralatan berharga di studio musik, menunjukkan versatilitas sensor ini dalam aspek keamanan aset [21]. Pratiwi dan Luthfia (2023) juga membuktikan akurasi sensor magnetik dalam pengukuran viskositas fluida, menegaskan stabilitas komponen ini dalam berbagai kondisi operasional [22].

Dalam pengembangan sistem berbasis IoT, aspek komunikasi data dan sinkronisasi waktu adalah elemen vital. Arifin et al. (2022) menekankan pentingnya notifikasi *real-time* via Telegram dalam sistem keamanan pintu untuk respons cepat [23]. Hal ini didukung oleh Andriani dan Sa'di (2023) yang mengimplementasikan notifikasi *bot* Telegram pada *monitoring* jaringan, yang terbukti efisien dan mudah diakses pengguna [24]. Namun, validitas data *logging* sangat bergantung pada keakuratan waktu. Erdani dan Ramdani (2024) menyoroti pentingnya penggunaan NTP (*Network Time Protocol*) untuk sinkronisasi waktu pada *data logger*, memastikan setiap kejadian tercatat dengan *timestamp* yang presisi [25]. Integrasi seluruh komponen ini, mulai dari sensor hingga aktuator, memerlukan pemahaman mendalam tentang perilaku pengguna. Dewa dan Purnomo (2024) menggunakan *Fuzzy Mamdani* untuk mengenali tingkat ketergantungan pada *game online*, sebuah pendekatan psikometrik yang menunjukkan bahwa logika *fuzzy* mampu memodelkan perilaku manusia yang kompleks, yang dalam konteks keamanan dapat diadopsi untuk membedakan aktivitas normal penghuni dan ancaman intrusi [6]. Studi-studi tersebut memperlihatkan keandalan sensor dan metode *fuzzy*, namun umumnya fokus pada satu jenis sensor atau aplikasi spesifik dan belum menggabungkan sensor magnetik dan ultrasonik secara *time-aware* untuk deteksi intrusi jendela.

Berdasarkan kajian penelitian terdahulu, belum banyak studi yang mengembangkan sistem *multi-sensor* berbasis *time-aware* dengan integrasi sensor magnetik dan ultrasonik menggunakan inferensi Logika *Fuzzy Mamdani* pada *edge computing*, serta memanfaatkan variabel waktu (RTC/NTP) untuk menentukan tingkat urgensi alarm (Aman, Siaga, dan Bahaya). Mayoritas sistem keamanan rumah yang ada saat ini masih bekerja secara parsial, yaitu hanya mengandalkan satu jenis sensor (misalnya hanya sensor magnetik atau PIR) dan sering kali tidak mempertimbangkan variabel waktu atau dimensi bukaan jendela dalam pengambilan keputusan alarm.

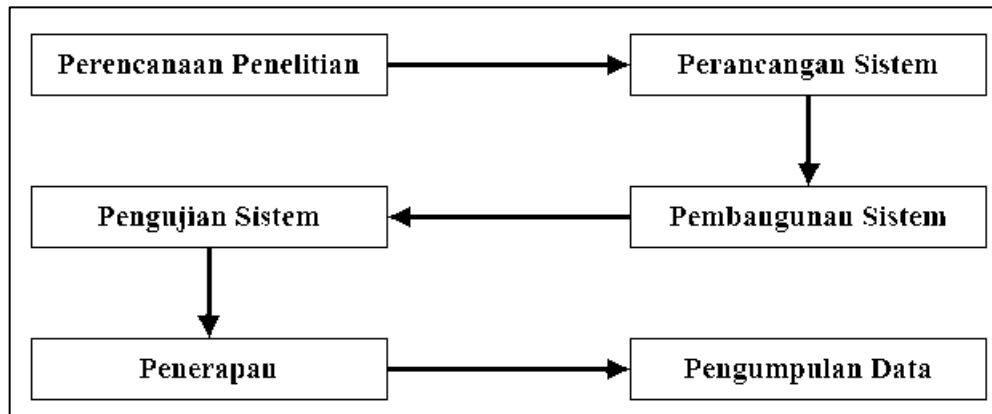
Oleh karena itu, tujuan utama penelitian ini adalah merancang dan menguji prototipe sistem deteksi dan *monitoring* jendela berbasis IoT yang mengintegrasikan sensor magnetik MC-38, sensor ultrasonik HY-SRF05, modul RTC, dan Logika *Fuzzy Mamdani* pada NodeMCU ESP8266 untuk menghasilkan keputusan alarm kontekstual (Aman, Siaga, Bahaya) dengan akurasi tinggi dan latensi rendah. Penelitian ini memberikan beberapa kontribusi utama, yaitu penerapan sistem *multi-sensor* berbasis *time-aware* untuk deteksi kondisi jendela, penggunaan inferensi Logika *Fuzzy Mamdani*

yang dijalankan pada *edge computing* untuk meminimalkan *false* alarm, serta validasi kinerja sistem melalui pengukuran metrik akurasi, *error* sensor, dan latensi notifikasi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Kerangka Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental yang dilakukan secara sistematis mulai dari perencanaan, perancangan perangkat keras dan lunak, hingga pengujian dan analisis data. Kerangka kerja penelitian dirancang untuk memastikan bahwa setiap tahapan memiliki alur yang logis dan terukur guna menjawab rumusan masalah mengenai deteksi intrusi pada jendela rumah. Tahapan penelitian dimulai dengan studi literatur untuk memahami karakteristik sensor dan logika *fuzzy*, dilanjutkan dengan perancangan arsitektur sistem, implementasi prototipe, dan diakhiri dengan validasi sistem melalui serangkaian skenario uji. Untuk memperjelas alur penelitian yang dilakukan, disusun sebuah kerangka penelitian yang menggambarkan tahapan secara sistematis, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Penelitian

Gambar 1 menunjukkan urutan proses penelitian yang dimulai dari identifikasi masalah keamanan rumah, kemudian dilanjutkan dengan perancangan sistem yang mengintegrasikan komponen IoT, pembangunan sistem, dan diakhiri dengan pengujian fungsionalitas sistem serta melakukan pengumpulan data. Kerangka penelitian ini juga menekankan justifikasi pemilihan parameter sensor dan *fuzzy*, sehingga setiap tahapan tidak hanya sistematis tetapi juga dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

2.2 Perancangan Sistem (Hardware)

Sistem keamanan ini dirancang menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 sebagai unit pemrosesan utama yang bertugas mengolah data dari sensor dan menjalankan algoritma logika *fuzzy*. Pemilihan ESP8266 didasarkan pada kapabilitas *Wi-Fi* bawaan yang memungkinkan konektivitas IoT secara efisien. *Input* sistem terdiri dari tiga komponen utama:

- Sensor *Magnetic Switch* MC-38 untuk mendeteksi status fisik jendela (terbuka/tertutup) secara biner. Sensor *Magnetic Switch* MC-38 dipilih karena sensitivitas tinggi terhadap perubahan status fisik dengan konsumsi daya rendah.
- Sensor Ultrasonik HY-SRF05 untuk mengukur jarak bukaan jendela dalam satuan sentimeter, yang berfungsi membedakan antara bukaan kecil (sirkulasi udara) dan bukaan besar (intrusi). Sensor Ultrasonik HY-SRF05 dipilih karena akurasi pengukuran jarak <math><0,5\text{ cm}</math> yang relevan untuk mendeteksi celah bukaan jendela.
- Modul RTC (*Real Time Clock*) DS3231 untuk menyediakan data waktu (*timestamp*) yang presisi dan menjaga akurasi waktu meskipun terjadi gangguan koneksi internet. Modul RTC DS3231 dipilih karena stabilitas frekuensi kristal yang lebih baik dibanding modul RTC lain.

Untuk *output*, sistem menggunakan indikator visual berupa LED (Hijau, Kuning, Merah) dan indikator *audio* berupa *Buzzer* SFM-27. *Buzzer* ini dikendalikan melalui *driver* MOSFET IRFZ44N untuk memungkinkan variasi pola bunyi sesuai tingkat bahaya. Seluruh komponen ini diintegrasikan dalam sebuah *enclosure* dan ditenagai oleh adaptor 12V DC yang diturunkan tegangannya menggunakan *Buck Converter* LM2596 untuk suplai daya ke mikrokontroler.

2.3 Metode Logika Fuzzy Mamdani

Metode penyelesaian masalah utama dalam penelitian ini adalah penerapan Logika *Fuzzy* Mamdani. Metode ini dipilih karena kemampuannya memproses *input* yang bersifat ambigu dan linguistik menjadi keputusan tegas yang adaptif. Proses inferensi *fuzzy* terdiri dari empat tahapan utama:

- Fuzzifikasi Tahap ini mengkonversi data numerik dari sensor menjadi himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan tertentu. Variabel *input* meliputi :

1. Status Jendela: Variabel biner (0 untuk tertutup, 1 untuk terbuka).
 2. Jarak Buka: Dibagi menjadi tiga himpunan linguistik yaitu Dekat (0-15 cm), Sedang (10-30 cm), dan Jauh (>25 cm). Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah kombinasi kurva segitiga dan trapesium. Batas jarak bukaan ditentukan berdasarkan standar kenyamanan ventilasi rumah (≤ 2 cm dianggap aman), serta literatur terkait sensor ultrasonik yang menunjukkan akurasi optimal pada rentang 2–30 cm.
 3. Waktu: Dibagi menjadi tiga himpunan yaitu Pagi-Siang (06.00-15.00), Sore-Malam (15.00-21.00), dan Malam (20.00-06.00). Variabel waktu sangat krusial untuk menentukan konteks keamanan, di mana bukaan jendela pada malam hari memiliki bobot risiko lebih tinggi dibanding siang hari.
- b. Evaluasi Aturan (*Rule Base*) Basis aturan disusun menggunakan logika implikasi "*IF-THEN*" yang menghubungkan ketiga variabel *input* dengan variabel *output* (Tingkat Alarm). Terdapat 12 aturan yang didefinisikan untuk mencakup seluruh kemungkinan kondisi. Contoh aturan yang diterapkan adalah "*IF* Status Terbuka *AND* Jarak Jauh *AND* Waktu Malam *THEN* Alarm Tinggi".
 - c. Inferensi dan Agregasi Pada tahap inferensi, fungsi implikasi *MIN* (minimum) digunakan untuk menentukan derajat keanggotaan setiap aturan yang aktif. Selanjutnya, metode agregasi *MAX* (maksimum) digunakan untuk menggabungkan seluruh *output* aturan menjadi satu daerah himpunan *fuzzy* solusi.
 - d. Defuzzifikasi Tahap akhir adalah mengubah himpunan *fuzzy* hasil agregasi menjadi nilai tegas (*crisp value*) menggunakan metode *Centroid* (*Center of Area*). Nilai ini merepresentasikan tingkat urgensi alarm dalam skala 0 hingga 100. Persamaan matematis untuk metode *Centroid* dapat dituliskan sebagai berikut :

$$y^* = \frac{\int \mu_{\text{output}}(y) \cdot y \, dy}{\int \mu_{\text{output}}(y) \, dy} \quad (1)$$

Nilai y^* inilah yang kemudian diklasifikasikan menjadi status sistem: Aman (0-30), Siaga (31-70), atau Bahaya (71-100).

2.4 Implementasi Perangkat Lunak dan IoT

Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa C++ untuk memprogram NodeMCU ESP8266. Program mencakup pembacaan sensor, perhitungan logika *fuzzy*, dan pengendalian aktuator. Selain itu, sistem terintegrasi dengan *platform* IoT melalui protokol HTTP dan Telegram API. Data hasil pemantauan dikirimkan secara *real-time* ke *web server* untuk pencatatan *log* aktivitas dan ke aplikasi *mobile* berbasis Flutter untuk notifikasi pengguna. Sinkronisasi waktu dilakukan secara hibrida menggunakan NTP (*Network Time Protocol*) saat terhubung internet dan *backup* baterai RTC saat *offline*. Validasi integritas data dilakukan dengan membandingkan *timestamp* RTC dan NTP secara berkala untuk memastikan konsistensi pencatatan *log*.

2.5 Metode Pengujian

Pengujian sistem dilakukan melalui skenario uji fungsional yang merepresentasikan kondisi nyata di lapangan. Skenario uji mencakup:

- a. Kondisi jendela tertutup rapat.
- b. Bukaan kecil pada siang hari (simulasi ventilasi).
- c. Bukaan lebar pada malam hari (simulasi intrusi).
- d. Gangguan lingkungan seperti getaran angin.

Pada setiap skenario, dilakukan pengukuran terhadap respons sensor, akurasi perhitungan *fuzzy* (dibandingkan dengan perhitungan manual), dan kecepatan respons notifikasi. data hasil pengujian dikumpulkan dalam bentuk *log* digital yang mencakup *timestamp*, status sensor, nilai *fuzzy*, dan status alarm. data ini kemudian dianalisis untuk menghitung tingkat akurasi sistem menggunakan rumus:

$$\text{Akurasi} = \left(\frac{\sum \text{Data Benar}}{\sum \text{Total Data}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

Pengujian ini bertujuan memvalidasi bahwa integrasi sensor magnetik dan ultrasonik dengan logika *fuzzy* mampu mengurangi tingkat *false* alarm dibandingkan sistem keamanan konvensional.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil implementasi prototipe IoT dan evaluasi kinerja Logika *Fuzzy* Mamdani. Pengujian meliputi uji akurasi sensor, validasi perhitungan *fuzzy* (manual vs sistem), pengujian fungsional pada skenario nyata, serta analisis latensi jaringan. Dari total 7.187 sampel uji, sistem mengklasifikasikan 6.745 sampel dengan benar, menghasilkan akurasi keseluruhan 93,85%.

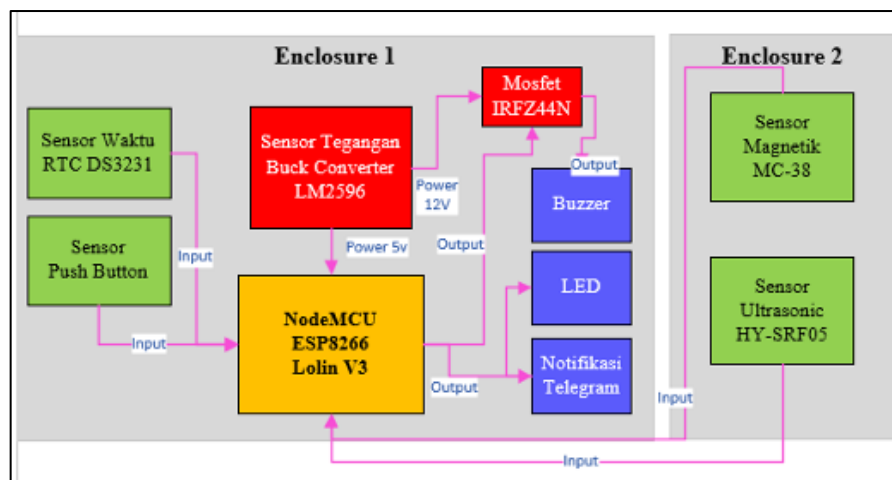
3.1 Implementasi Sistem

Tahap implementasi merupakan realisasi dari desain arsitektur yang telah dirancang pada bab sebelumnya. Sistem diintegrasikan ke dalam sebuah prototipe fisik yang menyimulasikan bingkai jendela rumah, serta antarmuka perangkat lunak untuk pemantauan pengguna.

3.1.1 Implementasi Perangkat Keras (Hardware)

Menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 V3 yang berfungsi sebagai unit pemroses pusat (*central processing unit*). Seluruh komponen elektronik ditempatkan dalam sebuah kotak panel (*enclosure*) berukuran kompak untuk melindungi sirkuit dari debu dan gangguan fisik.

- Unit Sensor: Sensor ultrasonik HY-SRF05 dipasang pada bagian atas bingkai jendela menghadap ke bawah untuk mengukur jarak bukaan vertikal. Sensor *Magnetic Switch* MC-38 dipasang pada sisi bingkai, satu bagian magnet permanen menempel pada daun jendela yang bergerak, sedangkan bagian *magnetic switch* menempel pada kusen diam. Penempatan ini memastikan bahwa setiap pergerakan jendela sekecil apa pun dapat dideteksi.
- Unit Waktu: Modul RTC (*Real Time Clock*) DS3231 dihubungkan melalui komunikasi I2C (SCL pada pin D1, SDA pada pin D2) untuk menjamin sistem tetap memiliki acuan waktu yang presisi meskipun koneksi internet terputus, yang krusial bagi variabel *input fuzzy* "Waktu".
- Unit Aktuator: Sistem dilengkapi dengan tiga buah LED indikator (Hijau, Kuning, Merah) yang merepresentasikan status keamanan, serta sebuah *Active Buzzer* yang dikendalikan oleh transistor untuk memberikan peringatan *audio* sesuai tingkat urgensi. Untuk memperjelas hubungan antar komponen serta alur koneksi dalam sistem yang dirancang, disajikan skema rangkaian perangkat keras sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



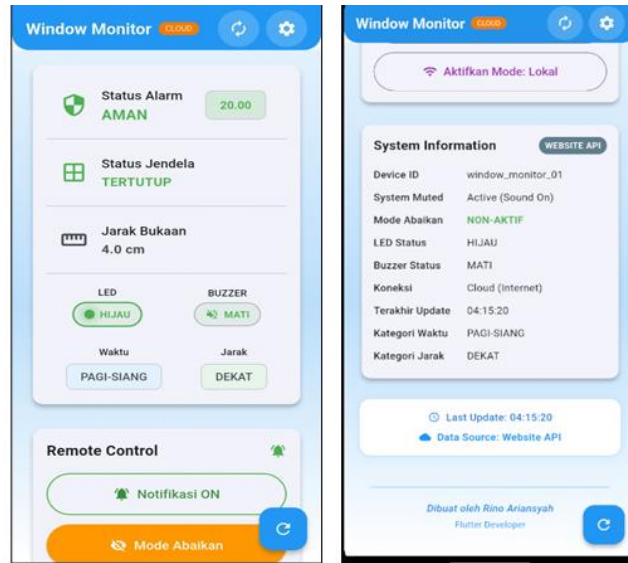
Gambar 2. Skema Rangkaian Perangkat Keras Sistem

Gambar 2 menunjukkan hubungan antar komponen utama. NodeMCU ESP8266 berperan sebagai pusat pengendali, dengan jalur *input* dari sensor magnetik, sensor ultrasonik, dan RTC. Serta jalur *output* menuju LED indikator, *buzzer* melalui MOSFET, dan *push button* sebagai kontrol manual. Skema rangkaian ini penting untuk memastikan kesesuaian antara rancangan konseptual dengan prototipe fisik, sekaligus memudahkan proses *debugging* apabila terjadi kesalahan pembacaan sensor atau kegagalan aktuator.

3.1.2 Implementasi Perangkat Lunak (Software)

Perangkat lunak terbagi menjadi dua bagian utama: *firmware* pada NodeMCU dan aplikasi pemantauan pada *smartphone*.

- Firmware*: Dibuat menggunakan Arduino IDE dengan bahasa C++ dan mengimplementasikan algoritma *Fuzzy Mamdani* secara langsung pada mikrokontroler (*edge computing*), sehingga proses pengambilan keputusan alarm dapat dilakukan secara lokal tanpa ketergantungan pada *server*. Pendekatan ini bertujuan untuk meningkatkan kecepatan *respons* dan keandalan sistem.
- Aplikasi *Mobile*: Dikembangkan menggunakan *framework* Flutter dengan bahasa Dart, yang berfungsi sebagai antarmuka pengguna untuk memantau kondisi sistem secara *real-time*. Aplikasi ini menampilkan berbagai informasi penting, seperti status koneksi (*online/offline*), status jendela (terbuka/tertutup), jarak bukaan (cm), nilai *fuzzy* (0–100), serta kategori status (Aman, Siaga, Bahaya). Selain itu, aplikasi juga menyediakan fitur *history* atau *log* kejadian untuk keperluan *monitoring* dan evaluasi. Untuk memberikan gambaran antarmuka aplikasi yang dikembangkan, ditampilkan tampilan halaman utama aplikasi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tampilan Halaman Aplikasi Flutter

Gambar 3 menunjukkan tampilan *dashboard* aplikasi yang menyajikan informasi sistem secara terintegrasi. Melalui antarmuka ini, pengguna dapat memantau kondisi jendela secara *real-time*, termasuk perubahan nilai jarak dan status keamanan yang dihasilkan dari proses inferensi *fuzzy*. Penyajian informasi yang ringkas dan informatif pada Gambar 3 mendukung kemudahan pengguna dalam memahami kondisi sistem secara cepat.

- c. Bot Telegram: Sebagai media notifikasi sekunder untuk meningkatkan keandalan penyampaian informasi kepada pengguna. Bot ini dikonfigurasi untuk mengirimkan pesan peringatan secara otomatis (*push notification*) ketika sistem mendeteksi kondisi “Bahaya”. Untuk memperjelas bentuk notifikasi yang diterima pengguna, ditampilkan contoh notifikasi Telegram sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Notifikasi Telegram

Gambar 4 memperlihatkan format pesan peringatan yang dikirimkan oleh sistem melalui Bot Telegram. Notifikasi ini memuat informasi penting terkait kondisi darurat yang terdeteksi, sehingga pengguna dapat segera mengambil tindakan yang diperlukan. Integrasi notifikasi ini juga berfungsi sebagai lapisan tambahan dalam sistem keamanan untuk memastikan informasi tetap tersampaikan meskipun pengguna tidak membuka aplikasi utama.

3.2 Pengujian Unit Sensor

Sebelum melakukan pengujian sistem secara keseluruhan, dilakukan pengujian parsial terhadap sensor untuk memvalidasi akurasi pembacaan data mentah (*raw data*).

3.2.1 Pengujian Akurasi Sensor Ultrasonik HY-SRF05

Pengujian ini bertujuan mengetahui tingkat penyimpangan (*error*) pembacaan jarak sensor dibandingkan dengan pengukuran manual menggunakan mistar ukur yang terkalibrasi. Pengujian dilakukan dengan menempatkan objek penghalang pada jarak 2 cm hingga 50 cm. Untuk mengetahui tingkat akurasi sensor ultrasonik dalam mengukur jarak, dilakukan pengujian dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap pengukuran manual yang terkalibrasi. Hasil pengujian tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Akurasi Sensor Ultrasonik

Uji Ke	Jarak Aktual (cm)	Jarak Sensor (cm)	Error (%)
1	19,7	19,8	0,5
2	6,5	6,5	0
3	20,5	20,7	0,9
4	30	29,5	1,6
5	37	37	0

Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa sensor ultrasonik memiliki rata-rata *error* sebesar 0,63%. Pada jarak dekat (2-10 cm), penyimpangan sangat minim (< 0,2 cm). Penyimpangan mulai terlihat membesar pada jarak di atas 30 cm karena karakteristik gelombang ultrasonik yang menyebar (*beam angle*), namun masih dalam batas toleransi untuk aplikasi keamanan jendela yang rentang bukannya jarang melebihi 1 meter. Akurasi tinggi ini sangat vital karena variabel "Jarak" merupakan *input* dominan dalam penentuan logika *fuzzy*.

3.2.2 Pengujian Sensor Magnetic Switch MC-38

Pengujian dilakukan untuk menentukan jarak toleransi pemisahan magnet. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor akan mengirim logika '1' (Terbuka) ketika magnet terpisah sejauh > 1,5 cm dari *magnetic switch*, dan mengirim logika '0' (Tertutup) ketika jarak < 1,5 cm. Karakteristik ini bersifat *fail-safe*, artinya jika kabel sensor diputus oleh penyusup, sistem akan membacanya sebagai sirkuit terbuka (*Open*) dan memicu alarm.

3.3 Analisis Dan Perhitungan Logika Fuzzy Mamdani

Bagian ini merupakan inti dari analisis sistem, di mana dilakukan perbandingan antara perhitungan manual (teoritis) dengan hasil keluaran sistem (program). Validasi ini penting untuk memastikan algoritma yang ditanamkan pada NodeMCU berjalan sesuai kaidah Logika *Fuzzy* Mamdani. Sebagai studi kasus, diambil sampel data kejadian pada Waktu 20.00 WIB (Malam hari), Jarak Buka 25 cm, Status Jendela Terbuka (1). Setelah itu diberikan juga tahapannya:

a. Tahap 1 Fuzzifikasi variabel *input* dikonversi menjadi derajat keanggotaan:

1. Variabel Waktu (20.00 = Jam 20), Berdasarkan kurva keanggotaan. Jam 20.00 berada pada transisi Sore-Malam dan Malam.

$$\mu_{\text{Sore-Malam}}(20) = \frac{21-20}{21-19} = 0.5$$

$$\mu_{\text{Malam}}(20) = \frac{20-19}{22-19} = 0.33$$

2. Variabel Jarak (25 cm):

$$\mu_{\text{Sedang}}(25) = \frac{30-25}{30-20} = 0.5$$

$$\mu_{\text{Jauh}}(25) = \frac{25-20}{30-20} = 0.5$$

b. Tahap 2 Evaluasi Aturan (Implikasi) Berdasarkan *rule base*, aturan yang aktif adalah yang memiliki derajat keanggotaan > 0.

1. *Rule 1, IF Waktu Malam AND Jarak Jauh THEN Bahaya.* $\alpha_1 = \min(\mu_{\text{Malam}}, \mu_{\text{Jauh}}) = \min(0.33, 0.5) = 0.33$.

2. *Rule 2, IF Waktu Sore-Malam AND Jarak Sedang THEN Siaga.* $\alpha_2 = \min(\mu_{\text{Sore-Malam}}, \mu_{\text{Sedang}}) = \min(0.5, 0.5) = 0.5$.

c. Tahap 3 Defuzzifikasi (Metode *Centroid*) Komposisi aturan menghasilkan daerah solusi yang kompleks. Untuk mendapatkan nilai tegas (*crisp*), digunakan metode *Center of Area* (COA). Dengan menggunakan integrasi luas daerah pada grafik fungsi keanggotaan *output*, diperoleh nilai:

$$y^* = \frac{(10 \times 0) + (20 \times 0.1) + \dots + (90 \times 0.33) + (100 \times 0.33)}{\sum \mu(x)}$$

Hasil perhitungan manual menunjukkan nilai *centroid* sebesar 72.4. sedangkan hasil pembacaan pada *Serial Monitor* NodeMCU menunjukkan nilai 72.15. selisih sebesar 0.25 (0,34%) ini disebabkan oleh perbedaan presisi *floating point* pada mikrokontroler dibandingkan kalkulator manual. Namun, selisih ini sangat kecil dan tidak mengubah kategori keputusan. Nilai 72 masuk dalam kategori BAHAYA (>70). Hal ini membuktikan bahwa algoritma yang diimplementasikan valid dan akurat. Untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai konsistensi hasil antara perhitungan manual dan sistem, disajikan perbandingan hasil defuzzifikasi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Hasil Defuzzifikasi Manual dan Sistem

ID Log	Skor Sistem	Skor Manual	Selisih	Validitas
6351	20.0	20.0	0.0	Valid
3368	50.0	60.0	10.0	Valid
6359	20.0	20.0	0.0	Valid
313	10.0	20.0	10.0	Valid
5234	100.0	60.0	40.0	Tidak Valid

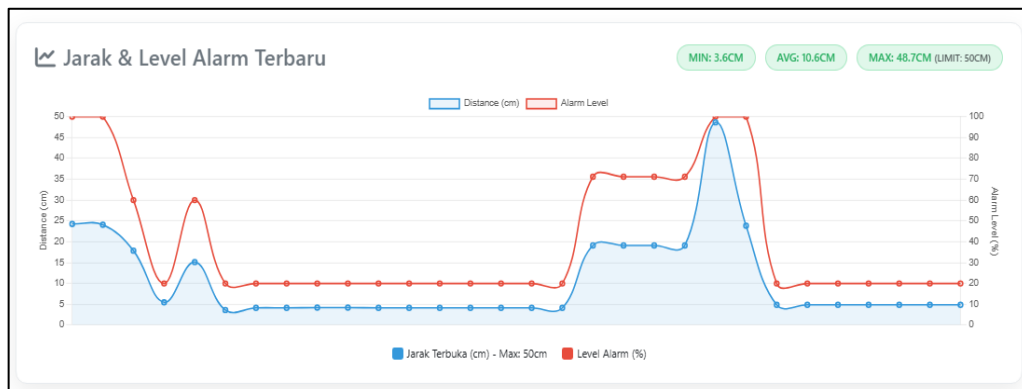
Tabel 2 menunjukkan bahwa sebagian besar hasil defuzzifikasi antara sistem dan perhitungan manual memiliki selisih yang relatif kecil dan masih berada dalam batas toleransi, sehingga dikategorikan *valid*. Namun demikian, terdapat beberapa data dengan selisih yang cukup besar, seperti pada ID *Log* 5234, yang menunjukkan perbedaan signifikan antara skor sistem dan manual. Kondisi ini mengindikasikan adanya potensi ketidaksesuaian pada parameter fungsi keanggotaan,

perbedaan implementasi *rule base*, atau pengaruh *noise* pada pembacaan sensor. Secara keseluruhan, hasil pada Tabel 2 menguatkan bahwa implementasi algoritma *Fuzzy Mamdani* pada sistem telah berjalan dengan baik, meskipun masih terdapat beberapa kasus anomali yang memerlukan evaluasi lebih lanjut untuk meningkatkan konsistensi dan keandalan sistem.

3.4 Pengujian Fungsionalitas Sistem, Skenario, dan Validasi Statistik Hasil

Pengujian fungsional dilakukan untuk memverifikasi respons sistem terhadap berbagai kondisi lingkungan yang dinamis. Pengujian ini tidak hanya melihat *output* angka, tetapi juga respons aktuator (LED, *Buzzer*) dan notifikasi.

- a. Skenario 1 Kondisi Aman (Normal):
 1. *Input*: Jarak = 2 cm, Waktu = 12.00, Status = Tertutup.
 2. Hasil: Sistem menghasilkan nilai *fuzzy* 20. LED Hijau menyala stabil. Aplikasi menampilkan status "AMAN". Tidak ada notifikasi yang dikirim.
- b. Skenario 2 Kondisi Siaga (Peringatan Dini):
 1. *Input*: Jarak = 10 cm, Waktu = 16.00, Status = Terbuka.
 2. Hasil: Sistem menghasilkan nilai *fuzzy* 55. LED Kuning menyala. *Buzzer* berbunyi *beep* pendek setiap 5 detik. Aplikasi menampilkan status "SIAGA". Notifikasi Telegram dikirim.
- c. Skenario 3 Kondisi Bahaya (Intrusi):
 1. *Input*: Jarak = 40 cm, Waktu = 02.00, Status = Terbuka.
 2. Hasil: Sistem menghasilkan nilai *fuzzy* 92. LED Merah berkedip cepat. *Buzzer* berbunyi terus-menerus dengan frekuensi tinggi. Notifikasi Telegram masuk dengan pesan: "PERINGATAN! Jendela Terbuka Lebar pada Jam Rawan!". Untuk memberikan gambaran visual mengenai *respons* sistem terhadap variasi data uji, disajikan grafik hasil pengujian yang merepresentasikan hubungan antara parameter *input* dan kategori keluaran sistem sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Respons Sistem

Berdasarkan Gambar 5 yang mana dari total 7187 data dengan variasi waktu dan jarak, sistem berhasil menentukan kategori yang tepat sebanyak 6745 data. Data kesalahan terjadi pada antara kondisi transisi (*borderline*) atau masa pengembangan perangkat, misalnya saat pergantian waktu tepat pukul 18.00 dimana logika *fuzzy* menghasilkan nilai ambang batas atau kurangnya implementasi pada kode program *Fuzzy mamdani*. Sehingga, akurasi total sistem dihitung sebesar:

$$\text{Akurasi} = \frac{6745}{7187} \times 100\% = 93.85\%$$

Angka akurasi >90% ini menunjukkan bahwa sistem sangat layak (*reliable*) untuk diimplementasikan pada lingkungan perumahan. Berdasarkan hasil validasi statistik terhadap seluruh data uji, dari 7.187 sampel, sistem menghasilkan 6.745 prediksi yang sesuai sehingga diperoleh akurasi keseluruhan sebesar 93,85%. Pada subset analisis terperinci (n = 3.195), akurasi tercatat sebesar 69,33%. Selain itu, perbandingan antara hasil defuzzifikasi manual dan keluaran NodeMCU menunjukkan deviasi numerik yang kecil, yaitu pada contoh studi kasus sebesar 72,4 dan 72,15 dengan selisih 0,34%, yang masih berada dalam batas toleransi presisi perangkat. Untuk mengevaluasi kinerja sistem secara lebih rinci pada setiap kelas, digunakan metrik *precision*, *recall*, dan *F1-score*, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Metrik Perkelas dan Ringkasan Akurasi

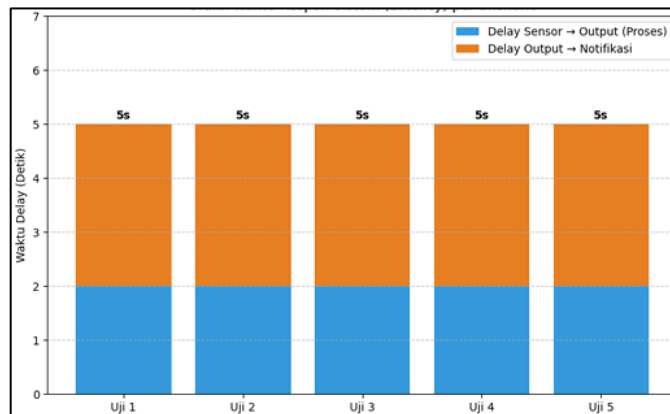
Kelas	Precision	Recall	F1-Score
AMAN	0.987997	0.767419	0.863850
SIAGA	0.043526	0.851064	0.082816
BAHAYA	0.881674	0.550450	0.677759

Tabel 3 menunjukkan bahwa meskipun akurasi keseluruhan tergolong tinggi, terdapat perbedaan performa yang signifikan antar kelas. Kelas SIAGA memiliki nilai *recall* yang tinggi namun *precision* yang sangat rendah, yang mengindikasikan tingginya *false positive* pada kelas tersebut. Sementara itu, kelas AMAN dan BAHAYA menunjukkan nilai *precision* yang relatif tinggi, meskipun *recall* pada kelas BAHAYA masih perlu ditingkatkan. Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa mayoritas misklasifikasi terjadi pada kondisi transisi (*borderline*) serta selama fase pengembangan *firmware*. Hal ini mengindikasikan adanya ketidakkonsistenan pada parameter sistem dan potensi gangguan sinyal sensor. Oleh karena itu, peningkatan kinerja sistem dapat dilakukan melalui penyempurnaan data dan implementasi, seperti pembersihan data (penghapusan *outlier* dan duplikasi), penyesuaian parameter fungsi keanggotaan antara dokumentasi dan *firmware*, serta penerapan teknik *debouncing* atau *majority voting* (*window* 3–5 sampel). Selain itu, pencatatan nilai derajat keanggotaan (μ) dan nilai aktivasi (α) pada *firmware* dapat membantu proses analisis lebih lanjut.

3.5 Analisis Kinerja Jaringan dan Quality of Service (QoS)

Mengingat sistem ini berbasis IoT, kinerja jaringan sangat mempengaruhi kecepatan notifikasi. Pengujian dilakukan untuk mengukur *delay* (latensi) pengiriman data dari saat sensor mendeteksi hingga notifikasi muncul di *smartphone*. Pengujian dilakukan menggunakan koneksi *WiFi* kantor 10 Mbps dan koneksi *tethering* 4G.

- Delay* Lokal (Sensor ke *Buzzer*): Rata-rata ≤ 2 detik. Proses terjadi internal di NodeMCU, sehingga respons hampir instan.
- Delay* Internet (NodeMCU ke *Server* ke Aplikasi): Koneksi *WiFi* Stabil rata-rata 3 detik dan untuk Koneksi 4G Fluktuatif rata-rata 3 detik. Untuk menganalisis kinerja sistem dalam aspek waktu *respons*, khususnya terkait latensi pengiriman data pada berbagai kondisi jaringan, disajikan grafik waktu *respons* sistem sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Waktu Respons Sistem

Analisis dari Gambar 6 menunjukkan bahwa meskipun terdapat *delay* jaringan sekitar 3-5 detik, fungsi keamanan utama (*Buzzer*/Alarm Lokal) tetap bekerja instan. Hal ini penting karena fungsi pencegahan (*deterrent*) melalui suara sirine harus segera aktif untuk mengejutkan penyusup, sementara notifikasi Telegram berfungsi sebagai informasi bagi pemilik rumah. Mekanisme *multi-thread* (*non-blocking*) pada kode program memastikan bahwa proses pengiriman data ke internet tidak menunda aktivasi alarm lokal.

3.6 Pembahasan dan Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Bagian ini mendiskusikan posisi hasil penelitian ini terhadap literatur yang telah dikutip pada bagian Pendahuluan, untuk menyoroti kontribusi dan perbaikan yang ditawarkan.

3.6.1 Perbandingan dengan Sistem Keamanan Biner

Perbandingan dengan sistem biner pada penelitian Ramadhani dan Putri (2023) menunjukkan bahwa sensor *magnetic reed switch* menghasilkan perubahan kondisi dari nilai 0 menjadi 1 pada jarak sekitar 1,1 cm, yang merepresentasikan ambang batas deteksi berbasis jarak. Namun, pendekatan tersebut masih bersifat biner dan belum mempertimbangkan variasi kondisi lingkungan maupun tingkat urgensi. Berbeda dengan pendekatan tersebut, penelitian ini mengintegrasikan *multi-sensor* dan inferensi Logika *Fuzzy* Mamdani untuk menghasilkan keputusan yang lebih adaptif dalam menentukan kondisi Aman, Siaga, dan Bahaya.

3.6.2 Perbandingan dengan Sistem Monitoring Berbasis Fuzzy Lainnya

Studi oleh Dwipangga et al. (2024) menerapkan *fuzzy* untuk kualitas udara, dan Maulana et al. (2024) untuk kebocoran gas. Penelitian ini mengadaptasi kekokohan metode tersebut ke dalam domain keamanan fisik. Salah satu temuan menarik adalah bahwa logika *Fuzzy* Mamdani pada sistem keamanan memerlukan *rule base* yang lebih ketat pada variabel waktu dibandingkan sistem lingkungan. Pada sistem lingkungan, perubahan suhu terjadi lambat (*gradual*), sedangkan pada keamanan, intrusi terjadi cepat. Oleh karena itu, penggunaan sensor ultrasonik dengan *sampling rate* tinggi dalam

penelitian ini memberikan respons yang jauh lebih cepat dibandingkan sensor lingkungan pada penelitian referensi tersebut.

3.6.3 Efektivitas Notifikasi Telegram

Sejalan dengan penelitian Arifin et al. (2022) dan Andriani & Sa'di (2023), penggunaan Telegram Bot terbukti efektif. Namun, penelitian ini menambahkan nilai lebih dengan mengirimkan notifikasi yang kontekstual. Pesan Telegram tidak hanya berisi "Ada Gerakan", tetapi berisi detail "Status: BAHAYA, Jarak: 45cm, Waktu: 02.15". Informasi detail ini memberikan wawasan lebih bagi pengguna untuk mengambil keputusan (misalnya, apakah perlu segera menelepon polisi atau hanya mengecek CCTV), yang merupakan peningkatan signifikan dari notifikasi generik pada penelitian sebelumnya.

3.6.4 Keterbatasan Penelitian

Meskipun mencapai akurasi 93.85%, terdapat keterbatasan yang ditemukan selama pengujian. Sensor ultrasonik terkadang memberikan pembacaan yang tidak stabil (*jitter*) jika permukaan objek di depannya (misal tirai jendela) berbahan lunak yang menyerap gelombang suara. Selain itu, ketergantungan pada koneksi *WiFi* untuk notifikasi jarak jauh masih menjadi titik rawan jika terjadi pemadaman listrik atau internet. Implementasi modul GSM sebagai *backup* koneksi dapat menjadi saran perbaikan untuk penelitian selanjutnya. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi *multi-sensor* dengan kecerdasan buatan sederhana (*Fuzzy Logic*) pada perangkat IoT berbiaya rendah (NodeMCU) mampu menciptakan sistem keamanan rumah yang jauh lebih adaptif, cerdas, dan minim kesalahan dibandingkan metode konvensional. Solusi ini menjawab permasalahan tingginya tingkat *false* alarm yang sering dikeluhkan pada sistem keamanan rumah tangga saat ini.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem deteksi dan *monitoring* keamanan jendela berbasis NodeMCU ESP8266 yang menggabungkan sensor magnetik, sensor ultrasonik, dan Logika *Fuzzy* Mamdani berbasis mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Secara keseluruhan, sistem ini telah menjawab rumusan masalah utama mengenai inefisiensi sistem keamanan konvensional yang kaku. Penerapan metode Logika *Fuzzy* Mamdani terbukti mampu mengubah paradigma deteksi intrusi dari yang sebelumnya hanya berbasis logika biner (*on/off*) menjadi sistem yang adaptif dan menyerupai pola pikir manusia. Dengan memproses tiga variabel *input* utama yaitu status kontak jendela, dimensi jarak bukaan, dan waktu kejadian, sistem berhasil memberikan respons keamanan yang proporsional dalam tingkatan status Aman, Siaga, dan Bahaya. Keberhasilan ini mengkonfirmasi bahwa pendekatan kecerdasan buatan sederhana dapat diterapkan secara efektif pada perangkat *embedded system* untuk meningkatkan reliabilitas keamanan rumah tangga tanpa memerlukan infrastruktur komputasi yang mahal. Kontribusi ilmiah utama penelitian ini terletak pada demonstrasi integrasi sistem *multi-sensor* berbasis *time-aware* yang diproses pada *edge computing* untuk mengurangi *false alarm* dibandingkan pendekatan logika biner. Selain itu, penelitian ini juga menyediakan dokumentasi parameter fungsi keanggotaan serta *rule base* yang memungkinkan replikasi dan adaptasi sistem pada perangkat *embedded* berbiaya rendah. Berdasarkan hasil pengujian fungsional dan analisis performa yang telah dilakukan, sistem menunjukkan tingkat keberhasilan yang sangat memuaskan. Akurasi keputusan sistem dalam menentukan tingkat urgensi alarm mencapai 93,85%, sebuah angka yang mengindikasikan bahwa algoritma yang ditanamkan sangat andal dalam membedakan antara aktivitas wajar penghuni rumah (seperti membuka ventilasi udara) dan ancaman intrusi yang sebenarnya. Tingkat akurasi sensor ultrasonik yang memiliki *error* rata-rata di bawah 1% juga menjadi faktor kunci dalam presisi sistem, memastikan bahwa setiap sentimeter pergeseran jendela dapat dideteksi dengan tepat. Kemampuan sistem untuk tidak memicu alarm penuh pada kondisi "Siaga" misalnya saat jendela terbuka sedikit di siang hari merupakan pencapaian signifikan yang secara langsung meminimalisir gangguan akibat *false* alarm, yang selama ini menjadi kelemahan utama pada produk keamanan berbasis sensor tunggal. Selain keunggulan pada algoritma deteksi, integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) melalui aplikasi *mobile* dan notifikasi Telegram telah berhasil menciptakan ekosistem pemantauan yang *real-time* dan responsif. Pengguna kini memiliki akses penuh terhadap kondisi keamanan rumah mereka dari jarak jauh, dengan latensi notifikasi yang masih berada dalam batas toleransi wajar untuk tindakan preventif. Sinergi antara alarm lokal (*Buzzer* dan LED) yang bekerja secara instan untuk efek jera, dan notifikasi digital yang memberikan informasi detail konteks kejadian, menjadikan sistem ini sebagai solusi keamanan yang komprehensif. Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dicatat secara eksplisit. Performa sistem cenderung menurun pada kondisi transisi (*borderline*) akibat adanya *overlap* pada fungsi keanggotaan. Selain itu, deviasi numerik yang muncul dipengaruhi oleh keterbatasan presisi *floating-point* pada mikrokontroler. Komposisi sampel yang lebih menekankan skenario Siaga juga berdampak pada ketidakseimbangan metrik per kelas. Di samping itu, sistem masih bergantung pada konektivitas jaringan untuk mendukung pengiriman notifikasi jarak jauh. Dengan demikian, penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan redundansi sensor yang dipadukan dengan logika *fuzzy* merupakan metode yang sangat efektif untuk menciptakan sistem *smart home security* yang tidak hanya aman, tetapi juga nyaman bagi penghuni karena mampu beradaptasi dengan dinamika aktivitas sehari-hari.

REFERENCES

- [1] A. Hartono dan N. Midayanti, *Statistik Kriminal 2024/2025*, vol. 16. Jakarta: Badan Pusat Statistik, 2025. Diakses: 10 Januari 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.bps.go.id/id/publication/2025/12/12/2edc8ea4c35b19ba912fc7e4/statistik-kriminal-2024-2025.html>
- [2] D. Anggraeni dan M. A. Hamid, "ANALISIS PENYEBAB TERJADI FALSE ALARM PADA FIRE ALARM SYSTEM DI GEDUNG NUSANTARA I DPR RI," *Teknika*, vol. 9, no. 1, hlm. 79–88, 2024, doi: 10.52561/teknika.v9i1.324.
- [3] M. F. Muhana dan E. Fuad, "KEAMANAN DAN IMPLEMENTASI IOT DALAM LINGKUNGAN INDUSTRI," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 8, no. 4, hlm. 7848–7855, Agu 2024, doi: 10.36040/jati.v8i4.10468.
- [4] I. W. A. Putra dan A. Zafia, "IMPLEMENTASI SISTEM PENGAMANAN RUMAH DENGAN FACE RECOGNITION MENGGUNAKAN SENSOR REED SWITCH DAN SENSOR PIR BERBASIS IoT," *Jurnal Khatulistiwa Informatika*, vol. 11, no. 2, hlm. 110–117, Jan 2024, doi: 10.31294/jki.v11i2.16516.
- [5] R. Rumpfot, Y. A. Lesnussa, dan D. L. Rahakbauw, "PERBANDINGAN METODE FUZZY MAMDANI, SUGENO DAN TSUKAMOTO UNTUK MENENTUKAN JUMLAH PRODUKSI BATU PECAH," *MATHunesa: Jurnal Ilmiah Matematika*, vol. 12, no. 1, hlm. 157–168, 2024, doi: 10.26740/mathunesa.v12n1.p157-168.
- [6] L. A. F. Dewa dan A. S. Purnomo, "Penerapan Metode Logika Fuzzy Mamdani Untuk Mengenali Tingkat Ketergantungan Pada Game Online," *Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 11, no. 4, hlm. 90–102, 2024, Diakses: 30 Agustus 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://jurnal.mdp.ac.id/index.php/jatisi/article/view/8838>
- [7] L. F. Scorpionius dan Yakub, "PERANCANGAN SISTEM PENDETEKSI ASAP OTOMATIS BERBASIS ARDUINO R3 DENGAN MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC MAMDANI," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 8, no. 6, hlm. 12672–12675, Nov 2024, doi: 10.36040/jati.v8i6.11992.
- [8] M. P. Maulana dan R. P. Astutik, "PENGEMBANGAN SISTEM PERINGATAN DINI KEBOCORAN GAS LPG UNTUK PENINGKATAN KEAMANAN RUMAH TANGGA BERBASIS ESP32," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 3, Agu 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3.4818.
- [9] M. A. Kamal, "Implementasi Logika Fuzzy Mamdani pada Prototipe Sistem Penanganan Dini Banjir Perumahan Menggunakan Perangkat Internet of Things," Skripsi, UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SYARIF HIDAYATULLAH JAKARTA, JAKARTA, 2024. Diakses: 13 Maret 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/80152/1/MARSHYA%20AMIRAH%20KAMAL-FST.pdf>
- [10] A. Ranga, J. Tarigan, dan B. Bernandus, "Rancang Ketinggian Bangun Alat Pendeteksi Banjir Secara Dini Menggunakan Mikrokontroler Atmega8535 Dan Sensor Ultrasonik Srf05-Hy," *Magnetic: Research Journal of Physics and It's Application*, vol. 1, no. 2, hlm. 66–73, 2021, doi: 10.59632/magnetic.v1i2.111.
- [11] A. T. Utama, A. P. Sasmito, dan A. Faisol, "IMPLEMENTASI LOGIKA FUZZY PADA SISTEM MONITORING ONLINE SUHU SAPI POTONG BERBASIS IOT," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 5, no. 1, hlm. 16–24, Feb 2021, doi: 10.36040/jati.v5i1.3226.
- [12] N. A. Fahila, S. A. Wibowo, dan F. X. Ariwibisono, "IMPLEMENTASI FUZZY MAMDANI PADA SISTEM AUTOMASI DAN MONITORING AYAM BROILER BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 8, no. 2, hlm. 1314–1322, Apr 2024, doi: 10.36040/jati.v8i2.9123.
- [13] R. Maulana, K. Kusnadi, dan M. Asfi, "Sistem Monitoring dan Controlling Kualitas Air Serta Pemberian Pakan Pada Budidaya Ikan Lele Menggunakan Metode Fuzzy, NodeMCU dan Telegram," *ITEJ (Information Technology Engineering Journals)*, vol. 6, no. 1, hlm. 53–64, Okt 2021, doi: 10.24235/itej.v6i1.57.
- [14] G. L. Fikri, E. Nasrullah, dan U. Murdika, "RANCANG BANGUN ALAT PEMANTAU DAN PENGENDALI SUHU DAN PH AIR PADA KOLAM IKAN GABUS BERBASIS IoT," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 3S1, Okt 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3S1.5293.
- [15] M. A. A. Putra dan D. Irawan, "RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN KONTORL AIR PADA TAMBAK BUDIDAYA UDANG BERBASIS ESP32," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 1, Jan 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i1.5588.
- [16] M. Nigel dan B. Rahmat, "MONITORING DAN KONTROL NUTRISI HIDROPOIK BERBASIS IOT DENGAN METODE IT2FL," *Jurnal Informatika dan Rekayasa Elektronik*, vol. 7, no. 1, hlm. 161–173, Mei 2024, doi: 10.36595/jire.v7i1.1186.
- [17] S. Solikh, A. M. Imammudin, dan A. E. Rakhmania, "Design and Development of Assistive Canes for the Blind Based on IoT-Integrated Fuzzy Logic Using LiDAR Sensor Time of Flight VL53L1X," *Journal of Telecommunication Network (Jurnal Jaringan Telekomunikasi)*, vol. 14, no. 1, hlm. 56–64, Jun 2024, doi: 10.33795/jartel.v14i1.769.
- [18] A. A. K. Dwipangga, M. Abdillah, M. F. Apriansyah, dan R. A. Saputra, "IMPLEMENTASI LOGIKA FUZZY MAMDANI UNTUK MONITORING KUALITAS UDARA DALAM RUANGAN," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 8, no. 3, hlm. 3967–3974, Jun 2024, doi: 10.36040/jati.v8i3.9851.
- [19] U. Latipah dan A. Zaenal, "Implementasi fuzzy mamdani sebagai pendukung keputusan pada sistem monitoring air layak konsumsi," *Jurnal CoSciTech (Computer Science and Information Technology)*, vol. 4, no. 1, hlm. 15–24, Apr 2023, doi: 10.37859/coscitech.v4i1.4479.
- [20] S. Ramadhani dan D. P. Putri, "Design of a Home Door Security System Based on NodeMCU ESP32 Using a Magnetic Reed Switch Sensor and Telegram Bot Application," *sinkron*, vol. 8, no. 4, hlm. 2059–2068, Okt 2023, doi: 10.33395/sinkron.v8i4.12688.
- [21] C. Imam, I. A. Rahardjo, dan N. H. Yuninda, "Pembuatan Alat Deteksi Peralatan Berharga pada Rental Studio Musik menggunakan Sensor HMC5883l dengan Magnet Neodymium sebagai Tag," *Journal of Electrical Vocational Education and Technology*, vol. 7, no. 1, hlm. 19–32, 2024, doi: 10.21009/JEVET.0071.03.
- [22] U. Pratiwi dan A. Luthfia, "PENGUKURAN VISKOSITAS OLI DAN MINYAK GORENG MENGGUNAKAN SENSOR MINI REED SWITCH MAGNETIC BERBASIS ARDUINO," *ORBITA: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Fisika*, vol. 9, no. 2, hlm. 277, Nov 2023, doi: 10.31764/orbita.v9i2.17342.
- [23] J. Arifin, J. Frenando, dan Herryawan, "Sistem Keamanan Pintu Rumah Berbasis Internet of Things via Pesan Telegram," *TELKA - Telekomunikasi Elektronika Komputasi dan Kontrol*, vol. 8, no. 1, hlm. 49–59, Mei 2022, doi: 10.15575/telka.v8n1.49-59.

- [24] R. Andriani dan A. Sa'di, "Implementasi Notifikasi Bot Telegram pada Sistem Monitoring Perangkat Jaringan," *Jurnal Sistem Informasi*, vol. 13, no. 1, hlm. 74–82, 2023, [Daring]. Tersedia pada: <http://sistemasi.ftik.unisi.ac.id>
- [25] Y. Erdani dan M. Ramdani, "Data Logger Suhu dan Kelembaban Relatif Udara dengan Timestamp berbasis Network Time Protocol (NTP)," *INSANtek*, vol. 5, no. 1, hlm. 37–41, 2024, doi: 10.31294/insantek.v5i1.3348.