



PROTOTYPE SISTEM KEAMANAN RUMAH BERBASIS MULTI-SENSOR DAN NOTIFIKASI SMS MENGGUNAKAN ESP32

Arif Paulus W. Hutagaol¹, Nicolaus Fidal Diaz Manurung², Wendy Panglima Sikop Pasaribu³, Eka Dodi Suryanto⁴, Dian Putra Saragi,⁵

¹Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan,
Jalan William Iskandar Ps.V, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara,
Negara Indonesia, Kode Pos 20221

¹arifhutgaol.5231230007@mhs.unimed.ac.id, ²nico.5233230026@mhs.unimed.ac.id,

³Wendy.5233530015@mhs.unimed.ac.id, ⁴ekadodisuryanto@unimed.ac.id,

⁵dianpsaragi@unimed.ac.id

Abstract. *The rapid development of embedded systems technology has driven the advancement of more effective and autonomous home security systems, particularly in environments with limited internet access. Potential risks such as fire, gas leakage, and physical intrusion require an early detection system that can operate in real time and reliably. This study aims to design and implement a prototype of a home security system based on ESP32 using a multi-sensor approach and SMS-based notification. An experimental method was employed, including system design, hardware and software implementation, and performance testing. The proposed system integrates a PIR sensor for motion detection, an MQ-2 sensor for gas and smoke detection, a flame sensor for fire detection, and an SW-420 vibration sensor for physical disturbances, supported by a SIM800L GSM module for communication. The results show that the system is capable of detecting hazardous conditions in real time with good responsiveness, where the flame sensor has the fastest response time of approximately ± 1 second, PIR and vibration sensors respond within $\pm 1-2$ seconds, and the MQ-2 sensor requires $\pm 2-5$ seconds depending on gas concentration. The system also successfully sends SMS notifications with an average delay of 5-10 seconds depending on network signal quality. Overall, the system demonstrates stable and effective performance, making it a reliable and cost-efficient embedded-based home security solution that does not depend on internet connectivity and is suitable for various environmental conditions.*

Keywords: ESP32; flame sensor; GSM SIM800L module; home security system; PIR sensor

Abstrak. Perkembangan teknologi sistem embedded mendorong kebutuhan akan sistem keamanan rumah yang mampu bekerja secara otomatis, real-time, dan tidak bergantung pada koneksi internet. Risiko seperti kebakaran, kebocoran gas, serta gangguan fisik memerlukan sistem deteksi dini yang andal untuk meminimalkan potensi kerugian. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan merealisasikan prototype sistem keamanan rumah berbasis ESP32 dengan pendekatan multi-sensor serta notifikasi berbasis SMS. Sistem mengintegrasikan sensor PIR untuk deteksi pergerakan, sensor MQ-2 untuk gas/asap, flame sensor untuk api, serta sensor getaran SW-420 untuk gangguan fisik, dengan modul GSM SIM800L sebagai media komunikasi. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental melalui tahap perancangan, implementasi, dan pengujian sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi kondisi bahaya secara real-time dengan respons yang baik, dimana flame sensor memiliki waktu respons tercepat sekitar ± 1 detik, sensor PIR dan sensor getaran merespons dalam $\pm 1-2$ detik, sedangkan sensor MQ-2 membutuhkan waktu $\pm 2-5$ detik tergantung konsentrasi gas. Sistem juga mampu mengirimkan notifikasi SMS dengan waktu rata-rata 5-10 detik tergantung kualitas sinyal jaringan. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan menunjukkan kinerja yang stabil, efektif, serta berpotensi menjadi solusi keamanan rumah berbasis embedded yang sederhana, ekonomis, dan andal.

Kata kunci: ESP32; flame sensor; modul GSM SIM800L; sensor PIR; sistem keamanan rumah

LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi sistem tertanam (*embedded system*) dalam beberapa tahun terakhir telah memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan sistem

keamanan rumah yang lebih efektif, ekonomis, dan terintegrasi. Meningkatnya mobilitas masyarakat serta aktivitas di luar rumah menyebabkan kebutuhan akan sistem keamanan yang mampu melakukan pemantauan kondisi hunian secara otomatis dan real-time menjadi semakin penting. Risiko seperti pencurian, kebocoran gas, dan kebakaran dapat terjadi sewaktu-waktu dan sering kali tidak terdeteksi secara dini tanpa adanya sistem pemantauan yang memadai. Pemanfaatan mikrokontroler dan sensor terintegrasi diketahui mampu meningkatkan efektivitas deteksi dini serta meminimalkan potensi kerugian (Adeyemi et al., 2023).

Sejumlah penelitian telah mengembangkan sistem keamanan rumah berbasis *Internet of Things* (IoT) yang memungkinkan pemantauan kondisi rumah secara real-time melalui jaringan internet (Sharma et al., 2024; Rahman et al., 2024). Sistem berbasis IoT menawarkan fleksibilitas dalam monitoring jarak jauh melalui aplikasi maupun platform berbasis *cloud*. Namun demikian, sistem ini memiliki ketergantungan yang tinggi terhadap koneksi internet yang stabil. Pada kondisi tertentu, seperti keterbatasan infrastruktur jaringan atau gangguan komunikasi, performa sistem dapat menurun sehingga mengurangi keandalan dalam mendeteksi kondisi darurat.

Sebagai alternatif, sistem berbasis modul GSM dengan layanan *Short Message Service* (SMS) masih menjadi solusi yang relevan dan andal karena tidak memerlukan koneksi internet aktif. Sistem ini hanya bergantung pada jaringan seluler sehingga lebih stabil dalam berbagai kondisi (Patel et al., 2023). Selain itu, implementasi sistem keamanan berbasis GSM dan mikrokontroler terbukti mampu memberikan respons cepat serta menyampaikan informasi secara langsung kepada pengguna (Kumar et al., 2024).

Selain aspek komunikasi, penggunaan sensor yang tepat juga menjadi faktor penting dalam meningkatkan efektivitas sistem keamanan rumah. Integrasi beberapa sensor dalam satu sistem memungkinkan deteksi berbagai jenis ancaman secara lebih komprehensif. Sensor MQ-2 dan *flame sensor* efektif dalam mendeteksi kebocoran gas dan potensi kebakaran, sedangkan sensor PIR dan sensor getaran mampu mendeteksi pergerakan serta gangguan fisik (Pratama et al., 2022; Sutrisno et al., 2021; Saputra et al., 2023). Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa sistem berbasis multi-sensor memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi serta mampu mengurangi *false alarm* dibandingkan sistem dengan satu jenis sensor (Sharma et al., 2024; Alami et al., 2023).

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada sistem berbasis IoT atau hanya mengintegrasikan satu hingga dua jenis sensor. Selain itu, masih terbatas penelitian yang mengkombinasikan pendekatan multi-sensor dengan sistem notifikasi berbasis SMS pada platform ESP32 yang bersifat sederhana, ekonomis, dan tidak bergantung pada koneksi internet. Hal ini menunjukkan adanya celah penelitian (*research gap*) dalam pengembangan sistem keamanan rumah yang komprehensif dan andal.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan merealisasikan prototype sistem keamanan rumah berbasis ESP32 yang mengintegrasikan sensor PIR, MQ-2, *flame sensor*, dan sensor getaran, serta dilengkapi dengan notifikasi SMS menggunakan modul GSM. Sistem yang dikembangkan diharapkan mampu memberikan solusi keamanan rumah yang lebih komprehensif, responsif, dan dapat beroperasi secara mandiri tanpa ketergantungan terhadap jaringan internet.

KAJIAN TEORITIS

Perkembangan sistem keamanan rumah berbasis mikrokontroler telah mengalami peningkatan signifikan dalam beberapa tahun terakhir seiring dengan kemajuan teknologi sistem tertanam (*embedded system*). Pemanfaatan mikrokontroler memungkinkan integrasi berbagai sensor dalam satu sistem terpusat yang mampu melakukan pemantauan dan pengambilan keputusan secara otomatis. Penelitian yang dilakukan oleh Rahman et al. (2024) menunjukkan bahwa penggunaan ESP32 dalam sistem keamanan rumah memberikan performa yang stabil serta mendukung integrasi berbagai modul komunikasi. Selain itu, kajian oleh Adeyemi et al. (2023) menyatakan bahwa sistem keamanan berbasis mikrokontroler memiliki potensi besar dalam meningkatkan keselamatan hunian di negara berkembang dengan biaya implementasi yang relatif terjangkau.

Sebagian besar penelitian terkini mengembangkan sistem keamanan berbasis Internet of Things (IoT) yang memungkinkan pemantauan kondisi rumah secara real-time melalui jaringan internet. Sharma et al. (2024) menjelaskan bahwa sistem keamanan berbasis IoT memberikan fleksibilitas dalam monitoring jarak jauh melalui aplikasi atau platform berbasis cloud. Namun demikian, sistem berbasis internet memiliki ketergantungan terhadap koneksi jaringan yang stabil. Pada kondisi tertentu, seperti

gangguan jaringan atau keterbatasan infrastruktur telekomunikasi, sistem berbasis IoT dapat mengalami penurunan performa.

Sebagai alternatif, penggunaan modul GSM sebagai media komunikasi notifikasi masih menjadi solusi yang relevan dan andal. Patel et al. (2023) mengembangkan sistem keamanan berbasis Arduino dan GSM yang mampu mengirimkan notifikasi SMS secara langsung kepada pengguna ketika terdeteksi kondisi darurat. Pendekatan ini dinilai lebih stabil karena hanya memerlukan jaringan seluler tanpa ketergantungan pada koneksi internet. Kumar et al. (2024) juga menyatakan bahwa sistem monitoring berbasis GSM memiliki tingkat keberhasilan pengiriman notifikasi yang baik serta mampu memberikan respons cepat terhadap kondisi bahaya.

Selain aspek komunikasi, integrasi sensor menjadi faktor penting dalam meningkatkan efektivitas sistem keamanan rumah. Penggunaan sensor MQ-2 dan flame sensor dalam sistem pendeteksi kebakaran telah terbukti efektif dalam mendeteksi kebocoran gas dan nyala api pada tahap awal (Pratama et al., 2022; Sutrisno et al., 2021). Sensor PIR banyak digunakan untuk mendeteksi pergerakan manusia berdasarkan perubahan radiasi inframerah, sedangkan sensor getaran digunakan untuk mendeteksi gangguan fisik seperti upaya pembobolan atau gempa ringan. Saputra et al. (2023) menunjukkan bahwa integrasi sensor PIR, sensor gas, dan ESP32 mampu meningkatkan akurasi deteksi aktivitas mencurigakan pada sistem keamanan rumah.

Lebih lanjut, penelitian oleh Alami et al. (2023) dan Sharma et al. (2024) menunjukkan bahwa sistem keamanan berbasis multi-sensor memiliki tingkat keandalan yang lebih tinggi dibandingkan sistem dengan satu jenis sensor saja. Integrasi beberapa sensor memungkinkan sistem melakukan verifikasi silang terhadap kondisi yang terdeteksi sehingga dapat mengurangi tingkat kesalahan deteksi (false alarm).

Berdasarkan kajian literatur tersebut, dapat disimpulkan bahwa pengembangan sistem keamanan rumah berbasis mikrokontroler dengan integrasi multi-sensor dan notifikasi berbasis GSM masih relevan untuk dikembangkan. Sebagian penelitian sebelumnya berfokus pada sistem berbasis IoT atau hanya mengintegrasikan satu hingga dua jenis sensor. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan sistem keamanan rumah berbasis ESP32 yang mengintegrasikan sensor PIR, MQ-2, flame sensor, dan sensor getaran dalam satu platform terpadu serta menggunakan notifikasi berbasis SMS melalui

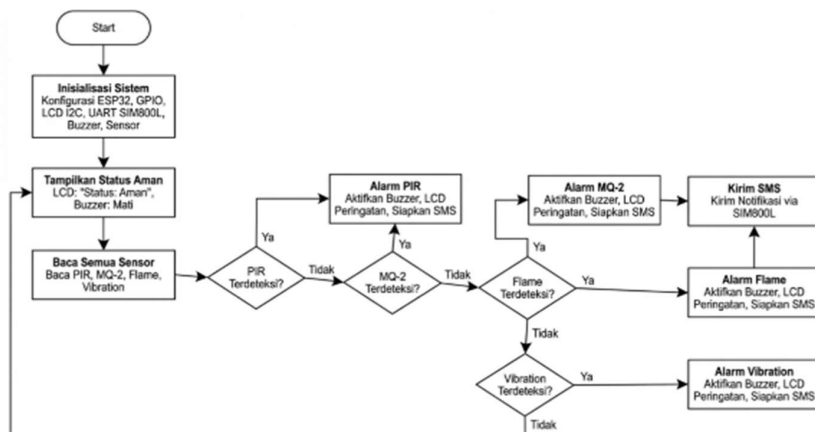
modul GSM. Pendekatan ini diharapkan mampu menghasilkan sistem yang lebih komprehensif, responsif, dan tidak bergantung pada koneksi internet.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan perancangan dan realisasi sistem (design and implementation approach). Metode ini dipilih karena penelitian berfokus pada pengembangan prototype sistem keamanan rumah berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan beberapa sensor serta sistem notifikasi berbasis SMS. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, perancangan sistem, realisasi perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, integrasi sistem, dan pengujian fungsional.

A. Perancangan Algoritma Sistem

Perancangan algoritma dilakukan untuk menentukan alur logika kerja sistem sebelum implementasi program pada ESP32. Algoritma ini dirancang dalam bentuk flowchart untuk memvisualisasikan proses pengambilan keputusan berdasarkan kondisi sensor.



Gambar 1. Flowchart Sistem Keamanan Rumah Berbasis Esp32

Berdasarkan Gambar 1, sistem diawali dengan proses start yang dilanjutkan dengan inisialisasi seluruh perangkat meliputi konfigurasi GPIO ESP32, komunikasi UART dengan SIM800L, inisialisasi LCD I2C, buzzer, serta sensor PIR, MQ-2, flame sensor, dan sensor getaran.

Setelah inialisasi selesai, sistem masuk ke kondisi monitoring dengan menampilkan status “Aman” pada LCD dan buzzer dalam keadaan mati. ESP32 kemudian membaca seluruh sensor secara berurutan dalam satu siklus loop.

Proses pengambilan keputusan dilakukan secara bertingkat:

1. Jika sensor PIR mendeteksi pergerakan, sistem langsung mengaktifkan buzzer, menampilkan peringatan pada LCD, dan menyiapkan SMS notifikasi.
2. Jika PIR tidak aktif, sistem memeriksa sensor MQ-2 untuk mendeteksi keberadaan gas.
3. Jika MQ-2 tidak mendeteksi gas, sistem memeriksa flame sensor.
4. Jika flame sensor tidak aktif, sistem memeriksa sensor getaran.

Apabila salah satu sensor mendeteksi kondisi bahaya, sistem akan mengaktifkan alarm lokal dan mengirimkan SMS melalui SIM800L. Jika seluruh sensor dalam kondisi normal, sistem kembali ke mode monitoring.

B. Komponen dan perangkat yang digunakan

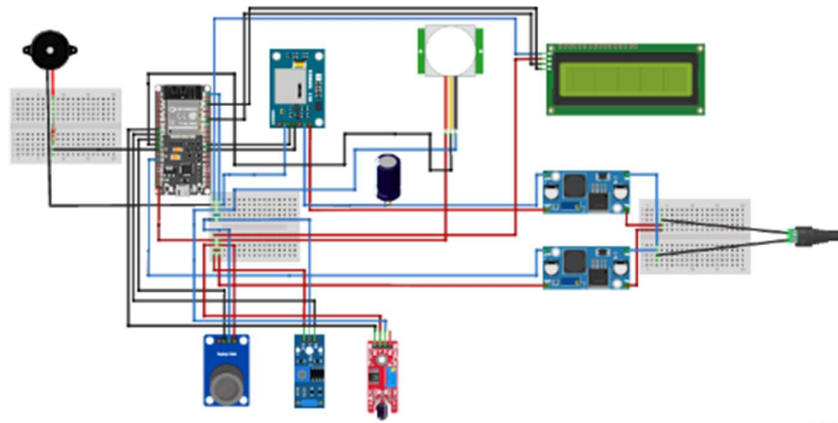
Sistem yang dirancang dalam penelitian ini menggunakan beberapa komponen utama yang berfungsi sebagai input, pemroses, dan output. Adapun komponen yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. ESP32
Berfungsi sebagai mikrokontroler utama yang mengendalikan seluruh sistem, termasuk membaca data sensor, memproses logika keputusan, dan mengirimkan notifikasi melalui modul GSM.
2. Sensor PIR (Passive Infrared)
Digunakan untuk mendeteksi pergerakan manusia berdasarkan perubahan radiasi inframerah.
3. Sensor MQ-2
Berfungsi untuk mendeteksi keberadaan gas dan asap melalui perubahan nilai tegangan analog.
4. Flame Sensor
Digunakan untuk mendeteksi keberadaan api berdasarkan intensitas cahaya inframerah.

5. Sensor Getaran (SW-420)
Digunakan untuk mendeteksi getaran atau gangguan fisik seperti upaya pembobolan.
6. Modul GSM SIM800L
Berfungsi sebagai media komunikasi untuk mengirimkan notifikasi SMS kepada pengguna.
7. LCD 16×2 dengan I2C
Digunakan untuk menampilkan status sistem secara real-time.
8. Buzzer
Berfungsi sebagai alarm lokal saat terdeteksi kondisi bahaya.
9. Relay (opsional)
Digunakan untuk mengontrol perangkat eksternal dengan tegangan lebih tinggi.
10. Step-down Converter (LM2596/MP1584)
Digunakan untuk menstabilkan tegangan suplai ke modul GSM.

C. Perancangan dan Realisasi

Realisasi perangkat dilakukan berdasarkan skematik rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 2. Perancangan ini mempertimbangkan kestabilan tegangan, kompatibilitas logika sinyal, serta efisiensi integrasi komponen.



Gambar 2. Skematik Rangkaian Prototype Sistem Keamanan Rumah

Pada Gambar 2 terlihat bahwa ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali sistem yang menghubungkan seluruh sensor dan modul output. Sensor PIR terhubung ke pin digital

ESP32 untuk mendeteksi perubahan logika HIGH saat terjadi pergerakan. Sensor MQ-2 terhubung ke pin analog untuk membaca perubahan tegangan yang merepresentasikan konsentrasi gas. Flame sensor dan sensor getaran juga dihubungkan ke pin digital untuk mendeteksi perubahan status sinyal.

Modul GSM SIM800L dihubungkan ke ESP32 melalui komunikasi serial (TX dan RX). Karena SIM800L membutuhkan arus yang cukup besar saat transmisi (hingga $\pm 2A$ sesaat), digunakan step-down converter (LM2596/MP1584) untuk menurunkan tegangan dari adaptor 9–12V menjadi tegangan kerja modul yang stabil. Penambahan kapasitor elektrolit bertujuan untuk meredam lonjakan arus saat proses pengiriman SMS.

LCD 16×2 digunakan sebagai media tampilan status sistem dan terhubung melalui modul I2C untuk menghemat penggunaan pin pada ESP32. Buzzer dihubungkan ke pin output digital sebagai alarm lokal. Relay digunakan sebagai opsi untuk mengendalikan perangkat eksternal dengan tegangan lebih tinggi.

D. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak dilakukan dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pemrosesan data. ESP32 dipilih karena memiliki prosesor dual-core 32-bit, kemampuan komunikasi serial yang lengkap, serta dukungan input analog dan digital yang memadai untuk integrasi multi-sensor.

Program dikembangkan dan ditanamkan pada ESP32 menggunakan bahasa pemrograman C/C++ dengan struktur utama yang terdiri dari fungsi inisialisasi dan proses berulang (looping system). Secara umum, alur kerja perangkat lunak terdiri dari beberapa tahap utama, yaitu inisialisasi sistem, pembacaan sensor, pengolahan data, pengambilan keputusan, serta pengiriman notifikasi.

Pada tahap inisialisasi, ESP32 melakukan konfigurasi seluruh pin GPIO sesuai dengan fungsi masing-masing komponen. Pin digital digunakan untuk membaca sinyal dari sensor PIR, flame sensor, dan sensor getaran, sedangkan pin analog (ADC) digunakan untuk membaca keluaran tegangan dari sensor MQ-2. Selain itu, dilakukan konfigurasi komunikasi serial (UART) antara ESP32 dan modul GSM SIM800L untuk proses pengiriman dan penerimaan SMS.

Pada tahap pemrosesan utama, ESP32 bekerja dalam mode continuous monitoring melalui struktur perulangan yang berjalan secara terus-menerus. Setiap siklus pembacaan sensor dilakukan secara berurutan, kemudian nilai yang diperoleh dibandingkan dengan

ambang batas yang telah ditentukan sebelumnya. Logika pengambilan keputusan menggunakan struktur percabangan (if-else statement) untuk menentukan jenis kondisi bahaya yang terdeteksi.

Apabila salah satu sensor mendeteksi kondisi bahaya, ESP32 akan melakukan beberapa tindakan secara simultan, yaitu:

1. Mengaktifkan buzzer sebagai alarm lokal melalui pin output digital.
2. Menampilkan pesan peringatan pada LCD 16×2 melalui komunikasi I2C.
3. Mengirimkan perintah AT Command melalui UART ke modul SIM800L untuk mengirimkan SMS notifikasi kepada nomor pengguna yang telah dikonfigurasi.

Selain pengiriman notifikasi, perangkat lunak juga dirancang untuk menerima pesan masuk dari modul GSM. ESP32 membaca data serial dari SIM800L dan memproses perintah tertentu, seperti aktivasi atau deaktivasi sistem. Dengan mekanisme ini, sistem tidak hanya bersifat monitoring pasif, tetapi juga mendukung pengendalian jarak jauh melalui SMS.

E. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan secara eksperimental untuk mengevaluasi kinerja prototype dalam mendeteksi kondisi bahaya dan mengirimkan notifikasi SMS. Pengujian difokuskan pada respons sensor, waktu respons sistem, keberhasilan pengiriman pesan, serta stabilitas operasi sistem.

1. Pengujian Sensor

Pengujian masing-masing sensor dilakukan dengan mensimulasikan kondisi sesuai fungsi sensor:

1. Sensor PIR diuji dengan variasi jarak pergerakan ($\pm 1-5$ meter) untuk mengetahui jangkauan deteksi dan waktu respons aktivasi alarm.
2. Sensor MQ-2 diuji dengan paparan gas/asap untuk mengamati perubahan nilai ADC dan menentukan ambang batas (threshold) aktivasi sistem.
3. Flame sensor diuji dengan sumber api kecil pada variasi jarak untuk mengetahui sensitivitas dan kecepatan respons.
4. Sensor getaran (SW-420) diuji dengan gangguan mekanis untuk mengevaluasi sensitivitas dan potensi false trigger.

Parameter yang diamati meliputi respons sensor, kestabilan pembacaan, dan waktu aktivasi buzzer.

2. Pengujian Pengiriman SMS

Pengujian komunikasi dilakukan untuk mengukur waktu respons sistem dari deteksi sensor hingga SMS diterima oleh pengguna. Parameter yang diukur meliputi:

1. Waktu deteksi hingga pengiriman AT Command
2. Waktu total hingga SMS diterima
3. Persentase keberhasilan pengiriman

Pengujian dilakukan berulang untuk memperoleh nilai rata-rata waktu respons.

3. Pengujian Integrasi dan Stabilitas

Pengujian integrasi dilakukan dengan mengaktifkan seluruh sensor secara bersamaan untuk memastikan sistem bekerja tanpa konflik logika maupun gangguan komunikasi serial. Sistem dijalankan dalam periode tertentu untuk mengevaluasi:

1. Stabilitas operasi kontinu
2. Konsistensi pembacaan sensor
3. Tidak terjadinya reset atau gangguan pada ESP32

Hasil pengujian ini akan digunakan sebagai dasar analisis performa dan keandalan sistem.

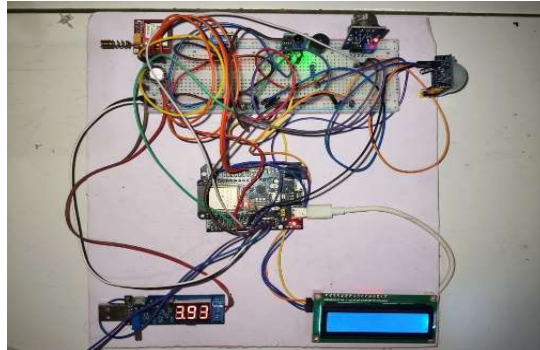
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan perancangan dan realisasi sistem (design and implementation approach). Metode ini dipilih karena penelitian berfokus pada pengembangan prototype sistem keamanan rumah berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan beberapa sensor serta sistem notifikasi berbasis SMS. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, perancangan sistem, realisasi perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, integrasi sistem, dan pengujian fungsional.

A. Perancangan Algoritma Sistem

Perancangan algoritma dilakukan untuk menentukan alur logika kerja sistem sebelum implementasi program pada ESP32. Algoritma ini dirancang dalam bentuk

flowchart untuk memvisualisasikan proses pengambilan keputusan berdasarkan kondisi sensor.

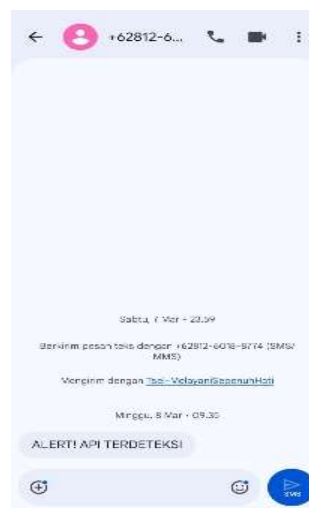


Gambar 3. Realisasi Prototype Sistem Keamanan Rumah Berbasis ESP32

Gambar di atas menunjukkan realisasi perangkat keras dari sistem yang telah dirancang. Berdasarkan hasil perakitan, seluruh komponen seperti ESP32, sensor, modul GSM, LCD, dan buzzer telah terhubung sesuai dengan skematik pada tahap perancangan. Sistem juga dilengkapi dengan modul step-down untuk menjaga kestabilan tegangan, khususnya pada SIM800L yang membutuhkan arus cukup besar saat proses transmisi.

Dari hasil pengujian, sistem mampu berjalan secara stabil dalam kondisi monitoring kontinu, dimana LCD menampilkan status jaringan dan kondisi sistem, sedangkan sensor bekerja secara real-time dalam mendeteksi perubahan lingkungan.

B. Pengujian Pengiriman Notifikasi SMS



Gambar 4. Hasil Implementasi Pengiriman SMS pada Sistem Keamanan

Gambar di atas menunjukkan hasil pengujian sistem dalam mengirimkan notifikasi SMS. Terlihat bahwa sistem berhasil mengirimkan pesan peringatan “ALERT! API TERDETEKSI” ke nomor tujuan ketika sensor flame mendeteksi adanya api. Hal ini membuktikan bahwa integrasi antara ESP32 dan modul GSM SIM800L berjalan dengan baik serta mampu memberikan respons secara langsung kepada pengguna.

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, waktu yang dibutuhkan sejak deteksi hingga SMS diterima berkisar antara 5 hingga 10 detik, tergantung pada kualitas sinyal jaringan seluler. Selain pengiriman SMS, sistem juga mampu melakukan panggilan otomatis sebagai bentuk peringatan tambahan.

C. Analisis Hasil Pengujian Sensor

Pengujian sensor menunjukkan bahwa masing-masing sensor memiliki karakteristik respons yang berbeda sesuai dengan fungsinya. Flame sensor menunjukkan respons paling cepat dalam mendeteksi api, diikuti oleh sensor PIR dan sensor getaran, sedangkan sensor MQ-2 membutuhkan waktu sedikit lebih lama karena bergantung pada konsentrasi gas.

Tabel 1. Hasil Pengujian Respons Sensor pada Sistem Keamanan Rumah Berbasis ESP32

| No | Sensor | Kondisi Uji | Respons Sistem | Waktu Respons |
|----|--------------|--------------------------|-------------------|-----------------|
| 1 | Flame Sensor | Api pada jarak ± 1 m | Terdeteksi (LOW) | ± 1 detik |
| 2 | MQ-2 | Paparan gas/asap | Terdeteksi (LOW) | $\pm 2-5$ detik |
| 3 | PIR | Pergerakan manusia | Terdeteksi (HIGH) | $\pm 1-2$ detik |
| 4 | Getaran | Benturan/getaran fisik | Terdeteksi (HIGH) | < 1 detik |

Berdasarkan tabel tersebut, dapat dianalisis bahwa sistem memiliki kemampuan deteksi yang baik terhadap berbagai jenis ancaman. Penentuan prioritas sensor dalam program (flame sebagai prioritas utama) terbukti efektif dalam memastikan respons cepat terhadap kondisi paling berbahaya.

D. Analisis Kinerja Komunikasi GSM

Kinerja komunikasi GSM sangat dipengaruhi oleh kualitas sinyal jaringan. Parameter CSQ yang diperoleh dari modul SIM800L menunjukkan hubungan langsung terhadap kecepatan dan keberhasilan pengiriman SMS.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kinerja Pengiriman SMS Berdasarkan Kualitas Sinyal Jaringan

| No | Kondisi Jaringan | Nilai CSQ | Waktu Kirim SMS | Status Pengiriman |
|----|------------------|-----------|-----------------|-------------------|
| 1 | Baik | 20–31 | 5–7 detik | Berhasil |
| 2 | Sedang | 10–19 | 7–10 detik | Berhasil |
| 3 | Lemah | <10 | >10 detik | Kadang gagal |

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem tetap dapat bekerja tanpa koneksi internet, namun performa komunikasi bergantung pada kestabilan jaringan seluler

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan, realisasi, dan pengujian yang telah dilakukan, prototype sistem keamanan rumah berbasis ESP32 berhasil dikembangkan dan mampu bekerja sesuai dengan tujuan penelitian. Integrasi beberapa sensor, yaitu sensor PIR, MQ-2, *flame sensor*, dan sensor getaran, memungkinkan sistem mendeteksi berbagai kondisi bahaya secara komprehensif, meliputi kebakaran, kebocoran gas, pergerakan manusia, serta gangguan fisik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap sensor memiliki karakteristik respons yang berbeda, dimana *flame sensor* memiliki waktu respons tercepat sekitar ± 1 detik, diikuti oleh sensor PIR dan sensor getaran dengan respons $\pm 1-2$ detik, sedangkan sensor MQ-2 membutuhkan waktu $\pm 2-5$ detik tergantung pada konsentrasi gas. Selain itu, sistem menunjukkan kinerja yang stabil dalam kondisi monitoring kontinu tanpa terjadi gangguan pada mikrokontroler. Integrasi modul GSM SIM800L juga terbukti mampu mengirimkan notifikasi SMS secara real-time dengan waktu pengiriman berkisar antara 5 hingga 10 detik tergantung pada kualitas sinyal jaringan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi secara mandiri tanpa ketergantungan pada koneksi internet dan memiliki potensi sebagai solusi keamanan rumah yang efektif dan andal.

Pengembangan sistem selanjutnya dapat difokuskan pada peningkatan performa dan keandalan melalui penerapan metode pemrograman non-blocking atau multitasking

agar sistem lebih responsif. Selain itu, diperlukan proses kalibrasi sensor yang lebih optimal untuk mengurangi kemungkinan *false alarm*. Integrasi dengan platform berbasis *Internet of Things* (IoT) juga dapat dipertimbangkan sebagai media monitoring tambahan guna meningkatkan fleksibilitas sistem. Dari sisi perangkat keras, penambahan sumber daya cadangan seperti baterai atau sistem *backup power* diperlukan untuk menjaga kontinuitas operasi sistem pada kondisi darurat.

DAFTAR REFERENSI

- Adeyemi, O., Bello, A., & Okafor, C. (2023). Review on home security system in developing countries. *Journal of Computer Science and Security Practices (JCSSP)*.
- Alami, Y., Benali, A., & Hmimid, A. (2023). Smart home security system. *Capstone Project Report*, Al Akhawayn University.
- Kumar, A., Singh, P., & Yadav, R. (2024). IoT based home security smart system using Arduino. *ResearchGate*.
- Patel, J., Mehta, K., & Shah, H. (2023). Home security system using Arduino Nano and GSM. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIRSET)*.
- Pratama, R., Nugroho, A., & Hidayat, T. (2022). Prototype alat pendeteksi kebakaran menggunakan sensor flame dan MQ-2 berbasis Arduino Uno. *ResearchGate*.
- Rahman, A., Yusuf, M., & Botutihe, S. (2024). Sistem keamanan rumah berbasis IoT menggunakan ESP32. *Jurnal Vokasi Universitas Negeri Gorontalo*.
- Saputra, D., Kurniawan, E., & Lestari, F. (2023). Perancangan keamanan rumah berbasis ESP32-CAM, sensor PIR, gas, dan api. *JPTAM (Jurnal Pendidikan Teknik dan Aplikasi Multimedia)*.
- Sharma, A., Verma, R., & Gupta, S. (2024). Smart home security system using IoT. *ResearchGate*.
- Sutrisno, D., Wahyuni, S., & Prakoso, B. (2021). Simulasi alarm kebakaran menggunakan sensor MQ-2. *Jurnal Elkom STEKOM*.
- Zhang, Y., Liu, X., & Chen, H. (2025). Developing real-time IoT-based public safety alert and emergency response. *PubMed Central (PMC)*.