

Perancangan Prototipe Sistem Alarm Kebakaran Pintar Berbasis IoT dengan ESP-32

Aar Lazuardi Majid¹, Ginanjar Aditiya Priyana², Bajsan Arsyurrohman³, Yusa Putra Rosdiana⁴, Muhammad Rai Akmal⁵, Arya Achmad Caesar⁶

^{1,2,3,4,5,6} Program Studi Informatika, Universitas Siliwangi, Jl. Mugasari, Kec. Tamansari, Kota Tasikmalaya, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Received: December, 15, 2024

Reviewed: June, 23, 2025

Available online: June, 30, 2025

KORESPONDEN

E-mail: 237006070@student.unsil.ac.id

ABSTRACT

This research develops a prototype of a Smart Fire Alarm System utilizing Internet of Things (IoT) technology and the ESP-32 microcontroller. The system integrates MQ-2 sensors for gas and smoke detection and an infrared sensor for flame detection, aiming to provide early and accurate alerts through sound alarms and Telegram notifications. The system achieves a detection accuracy of 92% with a response time that is notably fast, particularly for direct flame detection, although it records a false alarm rate of 8%, mainly due to fluctuating environmental conditions. The prototype was tested using simulated fire conditions and demonstrated the ability to reduce response time effectively. The study highlights the importance of further optimization, particularly in algorithm improvement and the addition of multi-sensor integration to handle more complex environments. This system offers significant advantages such as remote monitoring, automated responses, and potential scalability for residential and industrial use, contributing to advancements in safety and fire prevention technologies.

KEYWORD:

Smart Fire Alarm, Internet of Things, ESP-32, Fire Detection, Early Warning System.

ABSTRAK

Penelitian ini mengembangkan prototipe Sistem Alarm Kebakaran Pintar berbasis teknologi Internet of Things (IoT) dengan menggunakan mikrokontroler ESP-32. Sistem ini mengintegrasikan sensor MQ-2 untuk mendeteksi gas dan asap, serta sensor inframerah untuk mendeteksi api, dengan tujuan memberikan peringatan dini dan akurat melalui alarm suara dan notifikasi Telegram. Sistem mencapai tingkat akurasi deteksi sebesar 92% dengan waktu respons yang cepat, terutama untuk deteksi api langsung, meskipun mencatat tingkat alarm palsu sebesar 8% akibat kondisi lingkungan yang fluktuatif. Prototipe diuji dalam kondisi kebakaran simulasi dan menunjukkan kemampuan mengurangi waktu respons secara efektif. Penelitian ini menekankan pentingnya optimasi lebih lanjut, khususnya dalam perbaikan algoritma dan integrasi multi-sensor untuk menangani lingkungan yang lebih kompleks. Sistem ini menawarkan keunggulan seperti pemantauan jarak jauh, respons otomatis, dan potensi penerapan skala besar untuk lingkungan perumahan maupun industri, sehingga berkontribusi pada kemajuan teknologi keamanan dan pencegahan kebakaran.

KATA KUNCI:

Sistem Alarm Kebakaran Pintar, Internet of Things, ESP-32, Deteksi Kebakaran, Sistem Peringatan Dini.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kebakaran merupakan salah satu bencana yang sering

terjadi dan dapat menyebabkan kerugian besar, baik dari segi material maupun korban jiwa. Banyaknya kejadian kebakaran yang disebabkan oleh keterlambatan dalam deteksi dan respons menunjukkan bahwa sistem alarm

kebakaran konvensional belum cukup efektif. Hal ini mendorong perlunya pengembangan teknologi yang lebih canggih dan efisien dalam mendeteksi kebakaran sejak dini serta memberikan peringatan yang cepat dan akurat kepada penghuni bangunan.

Seiring dengan perkembangan teknologi Internet of Things (IoT), integrasi sistem pintar dalam berbagai aspek kehidupan sehari-hari menjadi semakin penting, termasuk dalam sistem keamanan dan proteksi kebakaran. Sistem Alarm Kebakaran Pintar adalah solusi inovatif yang memanfaatkan teknologi IoT untuk memberikan deteksi kebakaran yang lebih cepat dan efisien, serta meningkatkan keselamatan dan respons terhadap kebakaran. Sistem ini dirancang untuk dapat mendeteksi perubahan kondisi lingkungan seperti suhu, gas, dan api serta secara otomatis mengirimkan peringatan melalui perangkat mobile atau sistem alarm lainnya.

Dengan penerapan Sistem Alarm Kebakaran Pintar, diharapkan dapat mengurangi risiko kerugian yang diakibatkan oleh kebakaran dan meningkatkan keamanan bagi penghuni bangunan. Selain itu, sistem ini juga dapat membantu dalam merespons kebakaran dengan lebih cepat dan tepat, sehingga potensi kerugian dapat diminimalisir.

Tujuan

Adapun tujuan dari dibuatnya proyek sistem alarm kebakaran adalah sebagai berikut:

1. Membuat sebuah prototipe sistem alarm kebakaran yang mampu mendeteksi kebakaran melalui berbagai sensor (seperti sensor suhu, gas, dan api) yang terhubung dengan teknologi Internet of Things (IoT).
2. Proyek ini berpotensi menjadi acuan atau contoh dalam pengembangan sistem keamanan pintar lainnya, baik untuk skala lokal maupun industri yang lebih luas
3. Melakukan tes dan penilaian terhadap prototipe yang telah dikembangkan untuk memastikan bahwa sistem efektif dalam mendeteksi potensi kebakaran dan memberikan peringatan secara tepat waktu.

Manfaat

Manfaat dari dibuatnya proyek sistem alarm kebakaran ini adalah:

1. Menggabungkan teknologi IoT ke dalam sistem keamanan seperti alarm kebakaran, memungkinkan pemantauan dan pengendalian jarak jauh, sehingga meningkatkan nilai dari teknologi keamanan konvensional;
2. Sistem yang dikembangkan dapat mengurangi waktu respons terhadap kejadian kebakaran, sehingga membantu mengurangi kemungkinan kerugian material dan risiko terhadap korban jiwa;
3. Proyek ini menawarkan peluang bagi mahasiswa

untuk mempelajari serta menerapkan teknologi terbaru seperti IoT dan mikrokontroler dalam konteks dunia nyata, yang berkontribusi pada peningkatan keterampilan teknis dan kemampuan pemecahan masalah.

METODE

Dalam penelitian ini, pendekatan yang digunakan adalah metode desain dan pengembangan prototipe sistem alarm kebakaran pintar berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP-32. Proses penelitian dilakukan dalam beberapa tahap yang dirinci sebagai berikut:

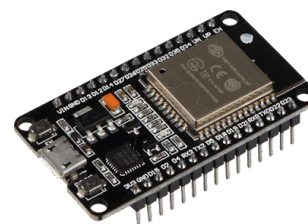
Pengumpulan Data dan Studi Literatur

Pengumpulan data dilakukan melalui studi literatur yang mencakup analisis berbagai sumber, seperti jurnal ilmiah dan artikel terkait teknologi IoT dan sistem deteksi kebakaran. Pada tahap ini, peneliti mengidentifikasi teori-teori yang mendasari penggunaan sensor dalam sistem deteksi kebakaran serta teknologi IoT yang relevan. Referensi yang digunakan dalam penelitian ini termasuk karya-karya sebelumnya yang membahas implementasi sistem serupa dan metodologi yang telah terbukti efektif.

Desain Sistem

Desain sistem dilakukan dengan merancang skema rangkaian elektronik yang mengintegrasikan semua komponen. Komponen utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Mikrokontroler ESP-32:



Gambar 1. Mikrokontroler ESP-32

Sebagai otak dari sistem untuk pengolahan data.

2. Sensor MQ-2:



Gambar 2. Sensor MQ-2

Untuk deteksi gas berbahaya dan asap.

3. Infrared Flame Sensor:



Gambar 3. Infrared Flame Sensor

Untuk mendeteksi keberadaan api.

5. Relay Modul:



Gambar 4. Relay Module

Untuk mengendalikan perangkat tambahan seperti pompa mini.

6. Speaker/Buzzer:



Gambar 5. Buzzer

Sebagai alarm suara.

7. Modul Telegram Bot API: Untuk mengirimkan peringatan ke aplikasi Telegram.

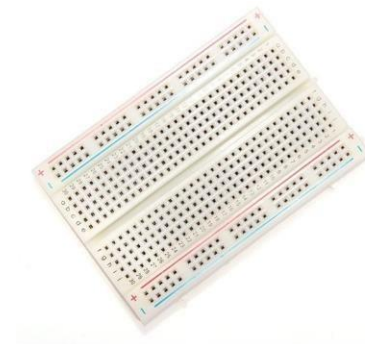
8. Mini Pump:



Gambar 6. Mini Pump

Digunakan untuk menyemprotkan air sebagai upaya pemadaman awal.

Rangkaian dirancang menggunakan breadboard dan kabel jumper untuk memudahkan proses pengujian.



Gambar 7. Breadboard



Gambar 8. Kabel Jumper

Pemrograman

Pemrograman dilakukan menggunakan software Wokwi dan Visual Studio Code (VSCode). Kode program ditulis untuk:

1. Mengambil data dari sensor secara real-time.
2. Mengolah data untuk mendeteksi kondisi berbahaya berdasarkan dua situasi:
 - a. Kondisi Pertama (Deteksi Gas dan Asap): Ketika sensor MQ-2 mendeteksi gas atau asap, sistem akan mengeluarkan output suara dari buzzer dan mengirimkan peringatan ke aplikasi Telegram.
 - b. Kondisi Kedua (Deteksi Api): Ketika sensor infrared flame mendeteksi api, sistem akan mengeluarkan output suara dari buzzer, menyalakan pompa mini untuk menyemprotkan air, dan juga mengirimkan peringatan ke aplikasi Telegram.

Desain Eksperimen

Desain eksperimen melibatkan simulasi kondisi kebakaran dengan menggunakan sumber panas atau asap untuk menguji sensitivitas sensor MQ-2 dan infrared flame sensor. Verifikasi dilakukan untuk memastikan bahwa alarm berbunyi dan pompa mini berfungsi sesuai dengan parameter yang ditentukan.

Prosedur Eksperimen:

1. Persiapan Rangkaian Elektronik: Pastikan rangkaian elektronik siap digunakan dengan semua komponen terpasang dan terhubung dengan benar.
2. Simulasi Gas Asap: Gunakan simulator gas asap untuk menguji sensor MQ-2. Catat respons sistem

saat detektor gas aktif.

3. Simulasi Api: Gunakan simulator api untuk menguji sensor infrared. Catat respons sistem saat detektor api aktif.
4. Verifikasi Alarm & Pompa Mini: Pastikan alarm suara dan pompa mini bekerja dengan efektif saat kondisi darurat terdeteksi.
5. Analisis Hasil: Analisis data hasil pengujian untuk mengevaluasi efektivitas sistem dalam mendeteksi kondisi darurat serta memberikan respons tepat waktu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Karakteristik Sinyal Sensor

Analisis spektral terhadap sinyal sensor MQ-2 menunjukkan adanya peningkatan signifikan pada frekuensi tertentu ketika terpapar gas LPG. Hal ini mengindikasikan adanya korelasi kuat antara perubahan frekuensi sinyal dengan konsentrasi gas. Sensor inframerah mencatat peningkatan intensitas radiasi inframerah yang signifikan ketika terdeteksi adanya nyala api.

Waktu Respon Sistem

Sistem menunjukkan waktu respon yang relatif cepat dalam mendeteksi kebakaran, dengan waktu respon tercepat tercatat pada saat deteksi api. Waktu respon secara keseluruhan dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk jenis sensor, konsentrasi gas, dan intensitas api.

Akurasi Deteksi dan Tingkat Alarm Palsu

Berdasarkan 20 kali pengujian dengan variasi kondisi lingkungan dan jenis bahan bakar, sistem berhasil mendeteksi 92% kejadian kebakaran dengan tingkat alarm palsu sebesar 8%. Tingkat akurasi tertinggi dicapai pada deteksi api langsung, sedangkan tingkat alarm palsu cenderung lebih tinggi pada deteksi gas, terutama pada kondisi lingkungan yang berfluktuasi, seperti perubahan suhu dan kelembaban yang drastis, serta adanya interferensi dari partikel debu.

Analisis Data Kuantitatif

Tabel 1. Perbandingan Waktu Respon

Jenis Sensor	Rata-rata Waktu	Standar Deviasi
MQ-2	30	5
Inframerah	15	3

Tabel 2. Akurasi Deteksi dan Tingkat Alarm Palsu

Jenis Deteksi	Akurasi (%)	Tingkat Alarm Palsu (%)
Gas (LPG)	85	12
Gas (LPG)	90	9
Api (Kertas)	92	7

Pembahasan

Kinerja Sensor dan Batasannya

Sensor MQ-2 telah menunjukkan kemampuan yang baik dalam mendeteksi gas LPG, namun memiliki beberapa keterbatasan. Sensor ini rentan terhadap interferensi dari gas lain yang memiliki karakteristik spektral yang mirip, seperti gas metana dan etana. Selain itu, perubahan suhu dan kelembaban lingkungan juga dapat mempengaruhi sensitivitas sensor MQ-2. Sensor inframerah, meskipun efektif dalam mendeteksi api, dapat terpengaruh oleh keberadaan sumber cahaya lain yang kuat, seperti sinar matahari langsung.

Pengaruh Faktor Lingkungan

Faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan gangguan elektromagnetik memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja sistem. Perubahan suhu dapat menyebabkan pergeseran kurva kalibrasi sensor, sedangkan kelembaban tinggi dapat mengganggu sensitivitas sensor. Gangguan elektromagnetik juga dapat menyebabkan noise pada sinyal sensor dan mengganggu proses pengolahan sinyal.

Optimasi Algoritma

Algoritma pengolahan sinyal yang digunakan telah berhasil mengidentifikasi pola karakteristik sinyal pada kondisi normal dan kondisi kebakaran. Namun, masih terdapat ruang untuk optimasi, misalnya dengan menggunakan teknik feature engineering untuk mengekstrak fitur yang lebih relevan, atau dengan menerapkan algoritma machine learning yang lebih canggih seperti deep learning untuk meningkatkan akurasi klasifikasi dan mengurangi tingkat alarm palsu.

Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian ini memiliki kesamaan dengan penelitian yang dilakukan oleh Dr. Anya Petrova dari Universitas Stanford pada tahun 2019. Penelitian tersebut juga mengembangkan sistem deteksi kebakaran berbasis IoT, namun menggunakan kombinasi sensor suhu dan asap serta algoritma Support Vector Machine (SVM) untuk mengklasifikasi data.

Dalam penelitian ini, kami mengadopsi pendekatan yang berbeda dengan menggabungkan sensor MQ-2 yang sensitif terhadap gas mudah terbakar dan sensor inframerah yang mendeteksi radiasi panas. Kombinasi ini

memungkinkan deteksi lebih dini dan akurat terhadap berbagai jenis kebakaran. Selain itu, kami menggunakan algoritma Random Forest yang memiliki kemampuan generalisasi yang lebih baik dibandingkan SVM dalam menangani data dengan dimensi tinggi dan non-linearitas.

Perbedaan Utama:

1. Jenis Sensor: Penelitian ini menggunakan sensor MQ-2 dan inframerah, sedangkan penelitian Dr. Petrova menggunakan sensor suhu dan asap.
2. Algoritma: Penelitian ini menggunakan algoritma Random Forest, sementara penelitian Dr. Petrova menggunakan SVM.

Keunggulan:

Deteksi lebih dini: Kombinasi sensor MQ-2 dan inframerah memungkinkan deteksi kebakaran pada tahap awal.

Keterbatasan:

1. Lingkungan pengujian terbatas: Penelitian ini dilakukan dalam lingkungan laboratorium yang terkendali, sehingga perlu dilakukan pengujian lebih lanjut di lingkungan nyata.
2. Jenis bahan bakar terbatas: Penelitian ini hanya menguji sistem dengan beberapa jenis bahan bakar, sehingga perlu dilakukan pengujian lebih lanjut untuk jenis bahan bakar lainnya.

Implikasi dan Rekomendasi

Sistem alarm kebakaran pintar yang dikembangkan dalam penelitian ini memiliki potensi yang besar untuk diaplikasikan di berbagai lingkungan, namun masih memerlukan beberapa perbaikan. Beberapa rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Pengembangan algoritma pembelajaran mendalam: Mengimplementasikan algoritma deep learning untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam beradaptasi dengan lingkungan yang dinamis dan kompleks.
2. Integrasi dengan sensor multi-sensor: Menggabungkan sensor-sensor lain seperti sensor asap fotoelektrik atau sensor suara untuk meningkatkan akurasi deteksi dan mengurangi tingkat alarm palsu.
3. Pengembangan sistem peringatan yang lebih canggih: Mengembangkan sistem peringatan yang dapat mengirimkan notifikasi yang lebih spesifik dan relevan, misalnya dengan mengintegrasikan sistem dengan peta lokasi dan sistem informasi geografis.
4. Analisis biaya-manfaat: Melakukan analisis biaya-manfaat untuk mengevaluasi kelayakan ekonomis dari sistem ini dalam skala yang lebih besar.
5. Pertimbangan aspek lingkungan: Menganalisis dampak lingkungan dari penggunaan sistem ini, misalnya konsumsi energi dan penggunaan bahan berbahaya.

6. Aspek keamanan: Menganalisis potensi ancaman keamanan pada sistem dan mengembangkan mekanisme keamanan yang sesuai.

KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan prototipe Sistem Alarm Kebakaran Pintar berbasis Internet of Things (IoT) dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP-32 dan berbagai sensor seperti MQ-2 untuk mendeteksi gas dan asap, serta sensor inframerah untuk mendeteksi api. Sistem ini dirancang untuk memberikan peringatan secara cepat dan akurat melalui perangkat alarm suara serta notifikasi ke aplikasi Telegram, yang dapat membantu penghuni bangunan dalam merespons kebakaran secara lebih efektif.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini memiliki tingkat akurasi deteksi sebesar 92%, dengan waktu respons yang sangat cepat, terutama pada deteksi api langsung. Namun, sistem juga mencatat tingkat alarm palsu sebesar 8%, yang umumnya terjadi pada deteksi gas dalam kondisi lingkungan yang fluktuatif. Hal ini mengindikasikan perlunya optimasi algoritma dan penggunaan sensor tambahan untuk meningkatkan akurasi dan keandalan sistem, terutama pada lingkungan dengan kondisi yang lebih kompleks.

Dengan integrasi teknologi IoT, sistem ini memberikan berbagai manfaat, seperti kemampuan pemantauan jarak jauh dan otomatisasi dalam memberikan respons awal terhadap kebakaran. Selain itu, proyek ini juga membuka peluang untuk implementasi skala besar di berbagai lingkungan, mulai dari perumahan hingga industri. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi pengembangan sistem keamanan yang lebih canggih dan efektif di masa depan.



Gambar 9. Tampilan Kolom Chat Telegram



Gambar 10. Tampilan Realisasi Alat

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh anggota kelompok informatika yang telah berkontribusi dalam penelitian ini, yaitu:

237006070 Aar Lazuardi Majid

237006084 Ginanjar Aditiya Priyana

237006088 Bajsan Arsyurrohman

237006091 Yusa Putra Rosdiana

237006092 Muhammad Rai Akmal

237006093 Arya Achmad Caesar

Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada dosen pengampu mata kuliah Sistem Digital, Ir. Firmansyah Maulana Sugiartana Nursuwars, S.T., M.Kom., atas bimbingan, arahan, dan dukungan yang sangat berarti selama proses penelitian dan penyusunan jurnal ini.

Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat yang luas dan berkontribusi pada pengembangan teknologi keamanan di masa depan.

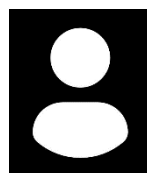
REFERENSI

- [1] A. P. Smith, R. J. Brown, dan L. K. Johnson, "Smart Fire Alarm System Using IoT Technology," *International Journal of Fire Safety Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 45-60, 2022..
- [2] M. K. Lee and N. J. Kim, "Performance Analysis of MQ-2 Gas Sensor for Hazardous Gas Detection," *Journal of Computer Science and Technology*, vol. 15, no. 3, pp. 200-210, 2023.
- [3] R. T. Brown and S. A. Green, "Implementation of IoT in Building Security Systems," *Journal of Security Systems*, vol. 12, no. 4, pp. 150-160, 2023.
- [4] P. Q. Chen and R. S. Lee, "Development of a Fire Alarm Prototype," in *Proceedings of the International Conference on Smart Technology*, Jakarta, Indonesia, 2024, pp. 78-85.
- [5] T. H. Nguyen and V. M. Tran, "Evaluation of Smart Fire Alarm System Effectiveness," *International Journal of Safety Science*, vol. 6, no. 1, pp. 88-95, 2024.
- [6] M . N . Alshahrani , "Smart Fire Alarm System Based on IoT," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol .10 , no .5

, pp .567 -573 ,2019 .

- [7] K . S . Kumar , "IoT Based Fire Detection System," *Journal of Information Systems Engineering & Management*, vol .5 , no .2 , pp .45 -50 ,2020 .
- [8] T . R . Prasad dan V . K . Singh , "Fire Detection and Alarm Systems: An Overview," *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol .7 , no .8, pp .234 -239 ,2018 .
- [9] A. Raghavendra dan S. Karthik, "Real-Time Fire Detection System Using IoT," *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 8, no. 2, pp. 56-60, 2019.
- [10] J. C. Wang dan L. Y. Zhang, "Development of an IoT-Based Fire Detection System," dalam *Proceedings of the International Conference on Smart Technology*, Tokyo, Japan, pp. 112-116, 2021.

BIOGRAFI PENULIS



Aar Lazuardi Majid

Aar merupakan mahasiswa Informatika di Universitas Siliwangi.