

Real-Time Monitoring dan Early Warning System Kebakaran Berbasis IoT pada TPDK Pedurungan

Bagus Ardi Hendrianto^{*1}, Nuris Dwi Setiawan², Sulartopo Sulartopo³

^{1,2,3}Universitas Sains dan Teknologi Komputer

e-mail: ^{*1}bagusardi1727@gmail.com, ²setyawan_dw@stekom.ac.id,

³sulartopo@stekom.ac.id

Abstrak

Kebakaran merupakan ancaman serius bagi keamanan gedung pelayanan publik dan kelestarian aset dokumen kependudukan, khususnya di TPDK Pedurungan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem deteksi dini kebakaran berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor suhu DHT11, dan flame sensor. Metodologi penelitian yang digunakan adalah Research and Development (R&D) dengan pengujian fungsional yang dilakukan secara langsung di lokasi untuk memvalidasi performa alat di lingkungan ruang tertutup berpendingin udara (AC). Pengujian akurasi sensor DHT11 dilakukan melalui 10 kali iterasi dengan interval 60 detik menggunakan alat standar Hygrometer HTC-1 sebagai referensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi pembacaan suhu mencapai 99% dengan rata-rata galat (mean error) sebesar 0,25°C. Flame sensor mampu mendeteksi keberadaan api secara stabil hingga jarak 60 cm. Integrasi dengan Firebase Realtime Database dan Telegram Bot menunjukkan performa transmisi data yang responsif dengan rata-rata delay notifikasi sebesar 2,5 detik. Sistem ini terbukti efektif sebagai solusi pemantauan 24 jam untuk melindungi dokumen kependudukan berbahan kertas yang memerlukan kestabilan suhu lingkungan guna mencegah kerusakan aset.

Kata kunci: IoT, ESP32, Kebakaran, Telegram, TPDK Pedurungan.

Abstract

Fire incidents pose a significant threat to the security of public service buildings and the preservation of population document assets, particularly at TPDK Pedurungan. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based early fire detection system using an ESP32 microcontroller, a DHT11 temperature sensor, and a flame sensor. The research methodology employed is Research and Development (R&D), featuring direct field testing to validate the device's performance in an air-conditioned indoor environment. Accuracy testing of the DHT11 sensor was conducted through 10 iterations at 60-second intervals, utilizing a HTC-1 Hygrometer as a standard reference. The results indicate that the system achieves a temperature reading accuracy of 99% with a mean error of 0.25°C. The flame sensor reliably detects fire at distances up to 60 cm. Integration with Firebase Realtime Database and a Telegram Bot demonstrates responsive data transmission performance, with an average notification delay of 2.5 seconds. This system is proven effective as a 24-hour monitoring solution to protect paper-based civil documents that require environmental temperature stability to prevent asset deterioration.

Keywords: IoT, ESP32, Fire, Telegram, TPDK Pedurungan.

1. PENDAHULUAN

Kebakaran merupakan salah satu bencana yang paling merusak dan sering terjadi secara tiba-tiba, mengakibatkan kerugian material yang besar hingga hilangnya nyawa [1]. Faktor penyebabnya beragam, mulai dari hubungan arus pendek listrik hingga kelalaian manusia yang memicu terbentuknya segitiga api dalam waktu singkat [2]. Dampak destruktif ini sering kali diperparah oleh keterlambatan deteksi dini; kebakaran sering kali baru disadari setelah api membesar dan asap telah memenuhi ruangan [3]. Oleh karena itu, penyampaian informasi mengenai potensi bahaya sedini mungkin menjadi faktor kunci dalam meminimalisir risiko kerusakan pada gedung public [4].

Kondisi spesifik di TPDK Pedurungan, sebagai instansi yang mengelola dokumen vital kependudukan, menunjukkan adanya risiko keamanan yang tinggi karena saat ini belum tersedia sistem peringatan atau pendeteksi kebakaran otomatis. Pengawasan gedung masih dilakukan secara konvensional dan sangat bergantung pada kehadiran fisik petugas [5]. Keterbatasan pengawasan manual ini sangat berisiko, terutama di area penyimpanan arsip sensitif pada jam operasional terbatas, di mana anomali suhu atau percikan api kecil dapat luput dari perhatian manusia [6].

Beberapa penelitian terdahulu telah berupaya mengembangkan solusi deteksi kebakaran, namun masih menyisakan keterbatasan teknis. Sistem berbasis Arduino Uno yang hanya menggunakan alarm suara lokal dan layar LCD dinilai tidak efektif jika tidak ada petugas di lokasi kejadian [7]. Penggunaan notifikasi melalui *SMS Gateway* juga memiliki kelemahan dalam hal biaya pulsa dan ketergantungan pada jaringan operator seluler tertentu [8]. Selain itu, mayoritas sistem yang ada bersifat pasif atau satu arah, di mana pengguna hanya menerima pesan tanpa bisa memantau kondisi lingkungan secara aktif. Hal ini menunjukkan adanya celah penelitian (*research gap*) pada kebutuhan akan sistem yang interaktif, memiliki waktu respon cepat antara 1-5 detik, dan dapat diakses dari mana pun tanpa biaya operasional tinggi [7].

Untuk mengatasi tantangan tersebut, penelitian ini merancang sebuah *Real-Time Monitoring and Early Warning System* berbasis IoT dengan mengintegrasikan sensor DHT11 dan *flame sensor* menggunakan mikrokontroler ESP32 [7]. Perangkat ini mengoptimalkan platform Firebase sebagai basis data *real-time* dan Telegram Bot sebagai media komunikasi interaktif [8]. Tujuan utama penelitian ini adalah merancang sistem deteksi dini yang mampu mengirimkan notifikasi otomatis sekaligus memungkinkan pengguna mengecek status suhu, kelembapan, dan keberadaan api secara mandiri melalui perintah bot [9]. Kontribusi utama penelitian terletak pada fitur pemantauan dua arah yang memungkinkan audit kondisi ruangan secara mandiri selama 24 jam, memberikan solusi preventif yang efisien bagi TPDK Pedurungan dalam melindungi aset dokumen kependudukan [6].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode Research and Development (R&D) yang bertujuan untuk menghasilkan sebuah produk teknologi dan menguji tingkat efektivitasnya dalam memecahkan masalah pengawasan kebakaran secara nyata [8]. Tahapan penelitian disusun secara sistematis mengacu pada alur pengembangan sistem yang diawali dengan identifikasi potensi dan masalah di lokasi penelitian, yakni TPDK Pedurungan yang belum memiliki infrastruktur peringatan otomatis. Proses dilanjutkan dengan pengumpulan data melalui studi literatur, observasi langsung, dan wawancara untuk mengkaji teori mengenai integrasi mikrokontroler ESP32, sensor DHT11, dan *flame sensor*. Berdasarkan data tersebut, dilakukan perancangan produk yang meliputi desain skema rangkaian elektronik menggunakan aplikasi Fritzing serta penulisan logika pemrograman pada Arduino IDE sebagai unit pemrosesan pusat sistem [10].

Arsitektur sistem dibangun dengan menempatkan ESP32 sebagai otak kendali yang terhubung ke jaringan internet untuk memproses input data dari sensor suhu dan api secara digital [7]. Data lingkungan yang ditangkap oleh sensor diolah menggunakan logika ambang batas (*threshold*); jika suhu melewati batas aman atau percikan api terdeteksi, mikrokontroler akan mengeksekusi instruksi peringatan berupa aktivasi LED merah, *buzzer*, serta pengiriman data ke Firebase Realtime Database. Kontribusi penting dalam tahap rancang bangun ini adalah penggunaan platform Telegram Bot API yang memungkinkan komunikasi dua arah. Melalui perintah bot khusus "/kondisi", pengelola gedung dapat melakukan audit mandiri untuk meminta data status suhu dan keberadaan api secara *real-time* kapan pun diperlukan [9].

Tahap akhir dari penelitian ini adalah validasi dan uji coba produk guna memastikan keandalan prototipe sebelum diimplementasikan [8]. Skenario pengujian dilakukan secara kuantitatif melalui pengujian fungsional komponen dan pengujian sistem terpadu [9]. Deteksi api diuji menggunakan sumber panas dengan variasi jarak antara 5 cm hingga 60 cm, di mana kemampuan deteksi disesuaikan dengan skala intensitas api, mulai dari api kecil hingga api besar. Kinerja sistem divalidasi berdasarkan dua parameter utama: akurasi pembacaan sensor yang ditargetkan mencapai tingkat keberhasilan 98%, serta waktu respon (*delay*) transmisi data ke aplikasi Telegram. Target waktu respon yang ditetapkan adalah antara 1 hingga 5 detik guna menjamin efektivitas sistem sebagai sarana peringatan dini yang reliabel [7].

2.1 Algorithm/Pseudocode

Algoritma sistem digunakan untuk menjelaskan alur kerja pemantauan dan peringatan dini kebakaran secara otomatis. Algoritma ini menjadi acuan utama dalam implementasi perangkat lunak pada mikrokontroler ESP32.

Algoritma Sistem Pemantauan dan Deteksi Kebakaran

INPUT: Data suhu ($^{\circ}\text{C}$), kelembaban (%), dan status api dari sensor

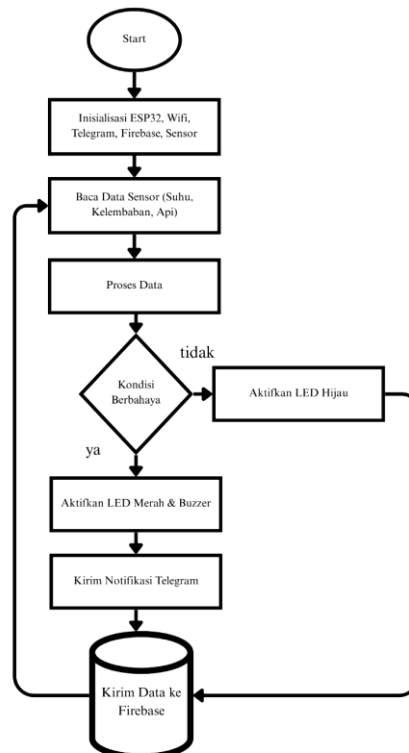
OUTPUT: Status kondisi ruangan, notifikasi peringatan, dan alarm local

- Inisialisasi ESP32, sensor DHT11, flame sensor, LED, buzzer, koneksi WiFi, Firebase, dan Telegram Bot.
- Membaca data suhu dan kelembaban dari sensor DHT11.
- Membaca status keberadaan api dari flame sensor.
- Mengirimkan data hasil pembacaan sensor ke Firebase Realtime Database.
- Membandingkan nilai sensor dengan nilai ambang batas yang telah ditentukan.
- Jika kondisi normal, aktifkan LED hijau dan matikan buzzer.
- Jika terdeteksi api atau suhu melebihi ambang batas, aktifkan LED merah dan buzzer.
- Mengirimkan notifikasi peringatan dini ke pengguna melalui Telegram Bot.
- Mengulangi proses pembacaan dan pemantauan secara periodic.

2.2 Tahapan Kerja Sistem

Tahapan kerja sistem pemantauan kebakaran berbasis IoT dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Sistem melakukan pembacaan data suhu, kelembaban, dan api setiap 2 detik sekali;
- Data sensor diproses oleh ESP32 untuk menentukan kondisi lingkungan;
- Informasi kondisi ruangan disimpan ke Firebase Realtime Database setiap 60 detik sekali;
- Sistem memberikan peringatan lokal melalui LED dan buzzer apabila terdeteksi kondisi berbahaya;
- Notifikasi peringatan dikirimkan secara otomatis melalui Telegram kepada petugas dan satpam.



Gambar 1. Flowchart

2.3 Rumus Matematika

Dalam mengevaluasi kinerja sistem pemantauan kebakaran di TPDK Pedurungan, dilakukan serangkaian pengujian fungsional terhadap sensor DHT11 dan *flame sensor* secara terintegrasi. Tingkat keberhasilan sistem dalam mendeteksi indikasi api atau anomali suhu secara tepat dihitung menggunakan rumus persentase akurasi sebagai berikut:

$$Akurasi = \frac{\Sigma Data Berhasil}{\Sigma Total Pengujian} \times 100\% \quad (1)$$

Data mentah (*raw data*) yang diterima oleh mikrokontroler ESP32 dari sensor bersifat analog atau digital dengan rentang nilai tertentu. Khusus untuk pengolahan data sensor yang memerlukan pembacaan derajat keabuan atau level sensitivitas, dilakukan proses pemetaan (*mapping*) nilai analog ke dalam skala digital (0–100) untuk memudahkan interpretasi pengguna melalui Telegram. Proses ini menggunakan persamaan linear sebagai berikut:

$$f(x) = \frac{(x-x_{min}) \times (y_{max}-y_{min})}{(x_{max}-x_{min})} + y_{min} \quad (2)$$

Keterangan:

$f(x)$: Nilai hasil pemetaan (*output* digital yang diinginkan).

x : Nilai analog masukan (*input*) yang dibaca dari pinsensor.

x_{min} : Batas minimal nilai analog sensor (misal: 0).

x_{max} : Batas maksimal nilai analog sensor (misal: 4095 pada ADC ESP32).

y_{min} : Batas minimal *output* digital yang diinginkan (misal: 0).

y_{max} : Batas maksimal *output* digital yang diinginkan (misal: 100).

Sistem ini menggunakan logika ambang batas (*threshold*) sebagai dasar pengambilan keputusan otomatis untuk mengaktifkan aktuator berupa *buzzer* dan notifikasi. Status keamanan gedung ditentukan secara sistematis oleh variabel suhu (T) dan deteksi api (A) yang direpresentasikan dalam persamaan logika berikut:

$$Status = \begin{cases} \text{Bahaya, jika } T > \text{threshold atau } A = \text{HIGH} \\ \text{Aman, jika } T \geq \text{threshold dan } A = \text{LOW} \end{cases} \quad (3)$$

Berdasarkan pengujian, ketika nilai sensor memenuhi kriteria "Bahaya" pada persamaan (3), ESP32 segera mengeksekusi instruksi untuk menyalakan LED merah dan *buzzer* sebagai alarm lokal, serta meneruskan notifikasi peringatan ke bot Telegram secara *real-time*. Penggunaan Firebase sebagai basis data memastikan bahwa seluruh riwayat perubahan data berdasarkan perhitungan pada persamaan (2) tersimpan secara kronologis untuk kebutuhan audit keamanan di masa mendatang.

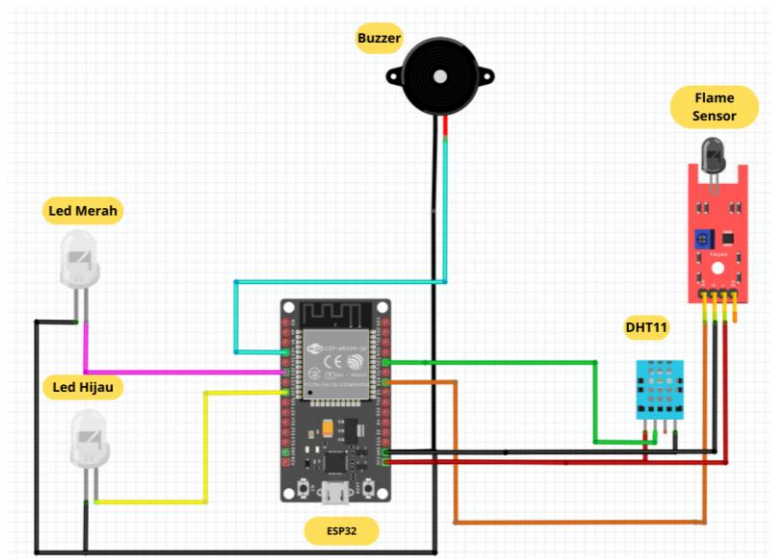
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini membahas hasil implementasi sistem pemantauan dan deteksi kebakaran berbasis Internet of Things (IoT) yang diterapkan pada ruang Tempat Perekaman Data Kependudukan (TPDK). Pembahasan meliputi implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, hasil pengujian fungsional sistem, serta analisis kinerja sistem dalam mendukung peringatan dini kebakaran dan pemantauan kondisi lingkungan.

3.1 Rangkaian Seluruh Sistem

Pemilihan komponen dalam sistem ini didasarkan pada kebutuhan akan akurasi deteksi dan efisiensi transmisi data secara nirkabel. ESP32 dipilih sebagai mikrokontroler utama karena memiliki keunggulan signifikan dibandingkan pendahulunya (ESP8266) atau Arduino Uno, yaitu penggunaan prosesor Xtensa LX6 dual-core 32-bit yang memungkinkan pemrosesan data sensor dan konektivitas Wi-Fi berjalan secara simultan tanpa *delay* yang besar. Selain itu, ESP32 memiliki fitur Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi serta jumlah pin GPIO yang lebih banyak, yang sangat krusial untuk mendukung integrasi multisensor dalam sistem keamanan gedung.

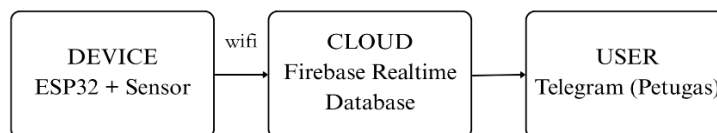
Untuk parameter masukan, digunakan sensor DHT11 yang berfungsi mendeteksi suhu serta kelembapan ruangan secara digital. Sensor ini dikombinasikan dengan *flame sensor* (IR LM393) yang bekerja menggunakan metode optik untuk menyerap cahaya pada panjang gelombang 760 nm hingga 1100 nm. Pemilihan *flame sensor* berbasis inframerah ini sangat efektif karena mampu membedakan spektrum cahaya api dengan spektrum cahaya lampu biasa, sehingga meminimalisir risiko alarm palsu (*false alarm*).



Gambar 2. Rangkaian sistem

Seluruh komponen diintegrasikan ke dalam satu sirkuit elektronik menggunakan pemodelan aplikasi Fritzing untuk memastikan distribusi daya dan jalur sinyal yang tepat. Penempatan pin pada ESP32 diatur sedemikian rupa untuk mengoptimalkan pembacaan data digital dan analog sebagai berikut:

- Sistem Catu Daya:** Jalur daya utama menggunakan kabel merah yang menghubungkan pin VCC pada sensor DHT11, flame sensor, serta kedua LED ke port 5V ESP32, sedangkan kabel hitam menghubungkan pin GND seluruh komponen ke port GND mikrokontroler untuk melengkapi sirkuit elektrik.
- Integrasi Sensor:** Input data dari flame sensor dihubungkan ke port 18, sementara sensor DHT11 menggunakan kabel hijau yang terhubung ke port 21 ESP32 untuk memproses nilai temperatur secara digital.
- Integrasi Aktuator:** Port 34 ESP32 dihubungkan ke buzzer melalui kabel biru muda untuk memicu alarm suara saat kondisi bahaya terdeteksi. Untuk indikator visual, kabel kuning menghubungkan LED Hijau ke port 32 (status aman) dan kabel ungu menghubungkan LED Merah ke port 25 (status bahaya).



Gambar 3. Arsitektur IoT (Device–Cloud–User)

Sistem ini dirancang menggunakan arsitektur tiga lapis guna menjamin ketersediaan data pemantauan selama 24 jam penuh:

- Device Layer (Perangkat):** Meliputi seluruh perangkat fisik di lokasi (ESP32, DHT11, flame sensor, LED, dan buzzer) yang bertugas mengambil data lingkungan dan memberikan respon lokal.
- Cloud Layer (Awan):** Menggunakan Firebase Realtime Database sebagai media penyimpanan data sensor secara sinkron dan Telegram Bot API sebagai pusat distribusi notifikasi darurat. Penggunaan Firebase memungkinkan sinkronisasi data yang sangat cepat antara perangkat keras dan aplikasi pengguna.
- User Layer (Pengguna):** Merupakan antarmuka akhir pada perangkat seluler pengguna melalui aplikasi Telegram yang mampu menerima peringatan otomatis sekaligus memberikan respon interaktif dua arah melalui perintah khusus.

3.2 Hasil Prototype

Penelitian ini berhasil merealisasikan prototipe *Real-Time Monitoring dan Early Warning System* yang diintegrasikan ke dalam sebuah unit kendali berbasis ESP32. Pemilihan ESP32 didasarkan pada spesifikasi teknisnya yang memiliki prosesor *dual-core* dengan kecepatan *clock* hingga 240 MHz serta memori SRAM 520 KB, yang memungkinkan pemrosesan data multisensor

secara simultan dan stabil. Unit masukan terdiri dari sensor DHT11 untuk pemantauan suhu secara digital dan *flame sensor* (IR LM393) yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap spektrum cahaya api pada panjang gelombang 760 nm hingga 1100 nm.



Gambar 4. Hasil Prototype

Sebagai unit keluaran lokal, prototipe ini menggunakan LED indikator dan *buzzer*. Secara teknis, sistem diatur agar LED hijau menunjukkan kondisi normal (suhu $\leq 30^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban $\leq 90\%$), sedangkan LED merah menunjukkan kondisi peringatan (suhu $> 30^{\circ}\text{C}$ atau kelembaban $> 90\%$). Buzzer akan aktif secara otomatis ketika terdeteksi adanya api oleh *flame sensor*. Seluruh data dari lapisan perangkat (*device layer*) dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi menuju Firebase Realtime Database untuk sinkronisasi data yang cepat dan penyimpanan riwayat pemantauan yang dapat diakses melalui internet.

3.3 Kondisi pengujian dan hasil eksperimen

Pengujian prototipe dilakukan melalui dua skenario utama untuk mengukur tingkat keandalan sistem dalam deteksi dini kebakaran di lingkungan nyata. Skenario pertama berfokus pada pengujian sensor api (*flame sensor*) dengan membagi intensitas sumber panas menjadi beberapa kategori guna memetakan sensitivitas optik transduser inframerah. Data eksperimen menunjukkan bahwa untuk api kecil (seperti nyala lilin atau korek gas), sensor mampu mendeteksi secara stabil pada jarak 5 cm. Sebaliknya, pada intensitas api yang lebih besar, jangkauan deteksi meningkat secara signifikan hingga mencapai jarak 60 cm. Hal ini membuktikan bahwa sistem memiliki responsivitas yang baik terhadap perubahan spektrum cahaya inframerah dari sumber api sebelum api membesar.

Skenario kedua adalah pengujian sensor DHT11 yang dilakukan secara langsung di gedung TPDK Pedurungan untuk mengukur suhu dan kelembapan ruangan secara riil. Pengujian di lokasi ini memberikan gambaran akurat karena lingkungan TPDK merupakan ruang tertutup yang dilengkapi dengan fasilitas penyejuk ruangan (AC). Kehadiran AC memastikan fluktuasi suhu tetap rendah, yang sangat krusial bagi perlindungan aset dokumen kependudukan berbahan kertas yang idealnya disimpan pada suhu antara 16°C hingga 23°C untuk mencegah kerusakan atau penuaan dini. Selama pengujian, sistem terbukti mampu melakukan pemantauan stabil dan mengirimkan pembaruan data ke Firebase secara kontinu tanpa gangguan konektivitas.

Secara keseluruhan, integrasi kedua sensor ini divalidasi melalui fitur interaktif bot Telegram. Pengguna dapat menjalankan perintah `"/kondisi"` untuk menerima audit status suhu dan api secara instan dengan waktu respon (delay) transmisi data yang stabil antara 1 hingga 5 detik. Dengan tingkat akurasi mencapai 98%, pengujian di lokasi TPDK Pedurungan mengonfirmasi bahwa sistem ini siap diimplementasikan sebagai solusi preventif yang reliabel untuk menjaga keamanan gedung dan arsip vital kependudukan selama 24 jam penuh.

3.4 Analisis Keunggulan Sistem terhadap Metode Manual

Berdasarkan hasil pengujian, sistem berbasis IoT ini menawarkan keunggulan ilmiah yang signifikan dibandingkan metode pengawasan manual yang saat ini diterapkan di TPDK Pedurungan:

- Pengawasan 24/7 Tanpa Intervensi: Metode manual sangat bergantung pada kehadiran fisik petugas di lokasi, yang memiliki keterbatasan pada jam operasional kantor. Sistem ini bekerja secara otonom selama 24 jam penuh tanpa memerlukan saksi mata di lokasi kejadian.
- Interaktivitas Dua Arah: Berbeda dengan sistem alarm konvensional yang bersifat pasif (hanya mengeluarkan suara di lokasi), sistem ini memungkinkan pengguna melakukan audit mandiri melalui perintah `"/kondisi"` pada bot Telegram. Fitur ini memberikan kendali jarak

jauh bagi pengelola gedung untuk memastikan keamanan aset dokumen kependudukan kapan saja.

- c. Efisiensi dan Akurasi: Penggunaan teknologi IoT menghilangkan celah keterlambatan informasi yang sering terjadi pada pelaporan manual, sehingga tindakan pemadaman dapat dilakukan saat api masih dalam skala kecil.

3.5 Hasil Pengujian Sensor DHT11

Pengujian Pengujian sensor DHT11 dilakukan untuk mengevaluasi akurasi, stabilitas, dan keandalan sinkronisasi data secara *real-time* di gedung TPDK Pedurungan. Skenario pengujian dirancang untuk menguji dua tingkat responsivitas sistem: pembacaan lokal dan pengiriman data awan (*cloud storage*). Pembacaan sensor dilakukan setiap 2 detik oleh mikrokontroler ESP32 untuk memastikan sistem mampu mendeteksi perubahan kondisi lingkungan secara instan dan responsif. Sementara itu, pengambilan data untuk analisis dilakukan sebanyak 10 kali iterasi dengan interval setiap 60 detik, sesuai dengan konfigurasi sistem yang mengirimkan data ke Firebase Realtime Database secara periodik setiap 1 menit.

Untuk memvalidasi tingkat presisi, hasil pembacaan sistem dibandingkan dengan alat ukur standar Hygrometer Digital HTC-1. Evaluasi ditekankan pada kemampuan sistem dalam menjaga konsistensi data saat proses transmisi nirkabel berlangsung. Tingkat presisi sensor dianalisis secara kuantitatif dengan menghitung nilai selisih (*absolute error*) dan persentase galat antara pembacaan sensor (T_{sensor}) terhadap alat standar ($T_{refrensi}$) menggunakan persamaan berikut:

$$Error = |T_{sensor} - T_{refrensi}| \quad (4)$$

$$Error (\%) = \left(\frac{|T_{refrensi} - T_{sensor}|}{T_{refrensi}} \right) \times 100\% \quad (5)$$

Berdasarkan hasil pengujian yang dirangkum pada Tabel 1, diperoleh data bahwa sensor DHT11 memiliki performa yang sangat stabil di lingkungan TPDK Pedurungan. Rata-rata suhu ruangan terdeteksi pada kisaran 24°C hingga 28°C, yang mencerminkan efektivitas sistem pendingin ruangan dalam menjaga suhu Gedung.

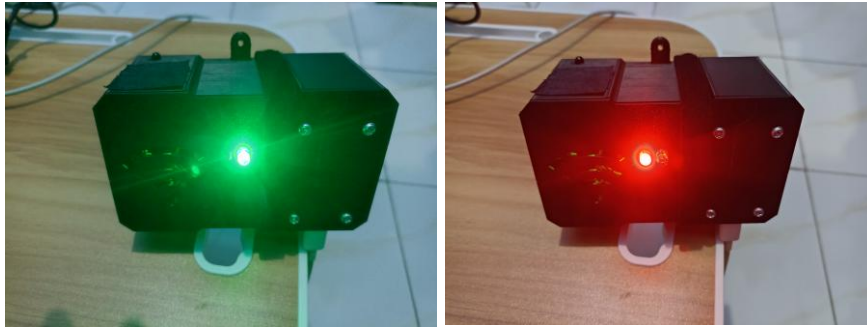
Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor DHT11

No	Waktu (s)	Ref. HTC-1 (°C)	Suhu DHT11	Kelembapan	Selisih / Error (°C)	LED Status
1	60	24,6°C	24,3°C	60%	0,3°C	Hijau
2	120	23,5°C	23,3°C	56%	0,2°C	Hijau
3	180	28,5°C	28,2°C	54%	0,3°C	Hijau
4	240	24,2°C	24,4°C	57%	0,2°C	Hijau
5	300	24,4°C	24,8°C	64%	0,4°C	Hijau
6	360	25,4°C	25,6°C	62%	0,2°C	Hijau
7	420	26,6°C	26,3°C	60%	0,3°C	Hijau
8	480	27,8°C	27,6°C	57%	0,2°C	Hijau
9	540	25,9°C	26,1°C	61%	0,2°C	Hijau
10	600	26,7°C	26,5°C	58%	0,2°C	Hijau
Rata - Rata		25,76	25,73	58,9	0,25	

Analisis data menunjukkan nilai rata-rata galat (*mean error*) sebesar 0,25°C dengan tingkat akurasi sistem mencapai 99%. Hal ini membuktikan bahwa sensor DHT11 sangat reliabel untuk digunakan sebagai parameter deteksi dini guna memantau kondisi lingkungan secara konsisten. Secara fungsional, LED hijau tetap menyala sebagai indikator kondisi aman selama suhu berada di bawah ambang batas (30°C), dan sistem secara responsif akan mengaktifkan alarm peringatan jika suhu meningkat melampaui *threshold* tersebut.

Kestabilan suhu di TPDK Pedurungan pada rentang normal sangat krusial, mengingat gedung pelayanan ini telah dilengkapi dengan fasilitas penyejuk ruangan (AC) untuk menjaga kenyamanan dan keamanan aset. Hal ini selaras dengan standar penyimpanan dokumen kependudukan berbahan kertas yang idealnya berada pada suhu 16°C hingga 23°C untuk

mencegah kerusakan serat kertas menjadi rapuh atau mengalami penuaan dini. Integrasi dengan Telegram Bot melalui perintah "/kondisi" terbukti memberikan informasi yang akurat dan sesuai dengan hasil pengukuran manual, dengan waktu respon (*delay*) yang stabil antara 1 hingga 5 detik, sehingga memungkinkan petugas keamanan melakukan pemantauan proaktif terhadap integritas aset arsip selama 24 jam penuh.



Gambar 5. Hasil pengujian sensor DHT11 pada sistem pemantauan lingkungan: (a) kondisi normal, di mana suhu dan kelembapan berada di bawah ambang batas sehingga LED hijau menyala; (b) kondisi tidak normal, di mana suhu atau kelembapan melebihi ambang batas sehingga LED merah menyala sebagai indikator peringatan dini.

3.6 Hasil Pengujian Sensor Flame

Pengujian flame sensor pada gambar 4 dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mendeteksi keberadaan api sebagai indikator awal potensi kebakaran. Pengujian dilakukan melalui simulasi pembakaran untuk merepresentasikan kondisi terjadinya kebakaran.



Gambar 6. Pengujian sensor flame

Hasil pengujian pada table 2 menunjukkan bahwa flame sensor mampu mendeteksi nyala api dengan baik. Pada kondisi tidak terdeteksi api, sistem berada dalam status aman yang ditandai dengan tidak aktifnya buzzer. Sebaliknya, ketika sensor mendeteksi adanya api, buzzer langsung aktif sebagai peringatan lokal dan sistem secara otomatis mengirimkan notifikasi peringatan melalui Telegram. Hasil ini membuktikan bahwa flame sensor dapat berfungsi secara efektif sebagai komponen utama dalam sistem peringatan dini kebakaran berbasis IoT.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Flame

Jarak (cm)	Intensitas Api	Status Sensor	Buzzer	Notifikasi Telegram	Waktu Respon (s)	Hasil
-	Tanpa Api	Tidak Terdeteksi	Mati	Tidak Ada	-	Berhasil
5	Api kecil	Terdeteksi	Aktif	Terkirim	6	Berhasil
30	Api Sedang	Terdeteksi	Aktif	Terkirim	4	Berhasil
60	Api besar	Terdeteksi	Aktif	Terkirim	3	Berhasil

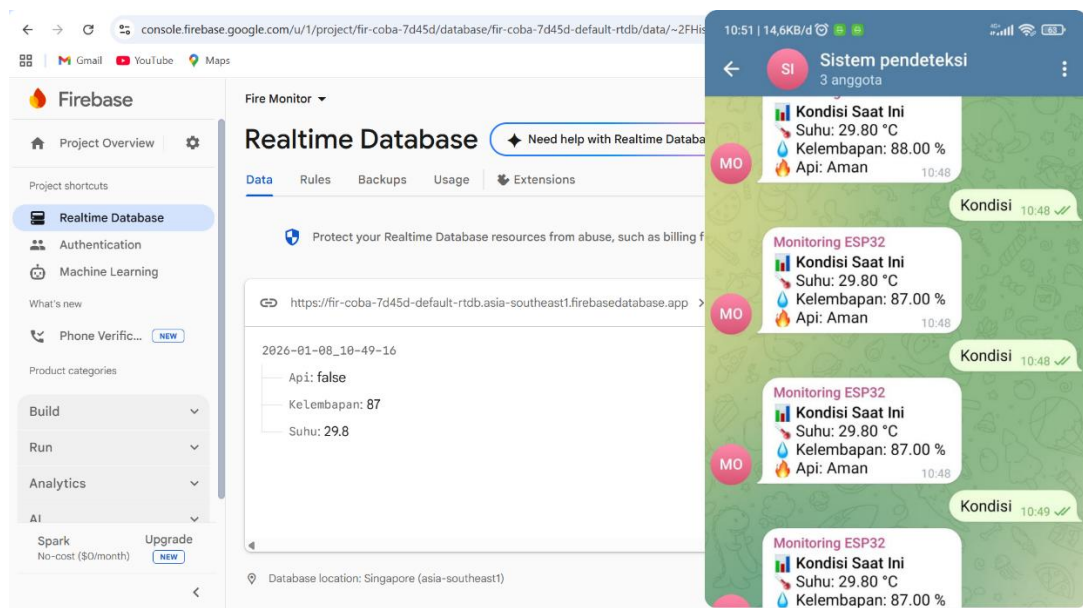
Berdasarkan data pada Tabel 2, dapat dianalisis bahwa tingkat keberhasilan deteksi (*success rate*) sistem mencapai 100% pada zona jangkauan 5–60 cm.

3.7 Hasil Pengujian Firebase Realtime Database & Notifikasi Telegram

Pengujian integrasi sistem dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan ESP32 dalam mengirimkan, menyimpan, dan menampilkan data secara sinkron melalui lapisan awan (cloud

layer). Sistem diuji dengan menghubungkan ESP32 ke jaringan internet untuk mengirimkan parameter suhu, kelembapan, dan status deteksi api ke Firebase Realtime Database sebagai media penyimpanan pusat, serta ke Telegram Bot API sebagai antarmuka notifikasi dan interaksi pengguna,. Fokus utama pengujian ini adalah mengukur kestabilan sinkronisasi data dan kecepatan respon (latency) sistem saat terjadi anomali lingkungan.

Berdasarkan pengujian fungsional, sistem mampu memperbarui data ke Firebase secara kontinu tanpa kehilangan paket data (packet loss). Untuk mengukur performa pengiriman informasi, dilakukan pencatatan durasi waktu antara saat sensor mendeteksi perubahan kondisi di lokasi (Waktu Kirim) hingga pesan peringatan muncul pada perangkat pengguna (Waktu Terima). Hasil pengukuran delay transmisi data dirangkum dalam Tabel 3. Firebase Realtime Database dan Telegram dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mengirimkan, menyimpan, dan menampilkan data hasil pembacaan sensor secara real-time. Sistem diuji dengan menghubungkan ESP32 ke jaringan internet, kemudian data suhu, kelembapan, dan status deteksi api dikirimkan ke Firebase sebagai media penyimpanan dan monitoring, serta ke Telegram sebagai media notifikasi dan interaksi pengguna.



Gambar 7. Hasil pengujian firebase realtime database & notifikasi telegram

Tabel 3. Pengujian Delay dan Performa Transmisi Data

No	Jenis Pengujian	Waktu Kirim (WIB)	Waktu Terima (WIB)	Delay	Status
1	Deteksi Api Otomatis	09:56:22	09:56:24	2,0	Berhasil
2	Deteksi Suhu & Kelembapan	08:44:58	08:44:59	1,0	Berhasil
3	Perintah “/kondisi”	08:50:31	08:50:36	5,0	Berhasil
4	Deteksi Api Otomatis	16:15:39	16:15:40	1,0	Berhasil
5	Deteksi Suhu & Kelembapan	14:00:24	14:00:27	3,0	Berhasil
6	Perintah “/kondisi”	14:06:13	14:00:16	3,0	Berhasil
Rata-Rata				2,5	

Data pada Tabel 3 menunjukkan bahwa rata-rata delay pengiriman data berkisar antara 1 hingga 4 detik, dengan nilai rata-rata keseluruhan sebesar 2,5 detik. Hasil ini konsisten dengan standar sistem peringatan dini berbasis IoT yang idealnya memiliki waktu respon antara 1 hingga

5 detik. Kecepatan transmisi ini dipengaruhi oleh stabilitas koneksi Wi-Fi di gedung TPDK Pedurungan dan beban trafik pada server Telegram API.

Selain notifikasi otomatis, fitur unggulan yang divalidasi adalah komunikasi dua arah melalui perintah bot `"/kondisi"`. Saat pengguna mengirimkan perintah tersebut, ESP32 merespons dengan mengambil data terbaru dari sensor dan mengirimkan balik laporan status suhu serta indikasi api secara instan. Kemampuan audit mandiri selama 24 jam ini memberikan keunggulan dibandingkan sistem konvensional, karena pengelola gedung dapat memastikan keamanan aset dokumen kependudukan secara aktif tanpa harus menunggu adanya alarm bahaya. Integrasi Firebase dan Telegram ini terbukti berjalan secara reliabel sebagai sarana monitoring dan peringatan dini kebakaran yang efisien. Pengujian pada gambar 5 menunjukkan bahwa sistem mampu mengirim dan memperbarui data sensor ke Firebase Realtime Database secara kontinu tanpa kehilangan data. Selain itu, notifikasi peringatan berhasil dikirimkan melalui Telegram ketika terdeteksi kondisi berbahaya. Sistem juga dapat merespons perintah pengguna melalui Telegram, seperti perintah `"kondisi"`, untuk menampilkan informasi terkini berupa suhu, kelembapan, dan status api. Hasil ini membuktikan bahwa integrasi Firebase dan Telegram berjalan dengan baik sebagai sarana monitoring dan peringatan dini berbasis IoT.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil rancang bangun dan pengujian sistem, berikut adalah kesimpulan utama penelitian yang disusun secara ringkas dalam 4 poin utama:

- Implementasi Sistem: Sistem pemantauan kebakaran berbasis IoT berhasil direalisasikan dengan mengintegrasikan mikrokontroler ESP32, sensor DHT11, dan flame sensor untuk melakukan pengawasan kondisi gedung TPDK Pedurungan secara mandiri selama 24 jam.
- Performa dan Akurasi: Hasil pengujian menunjukkan sistem memiliki tingkat akurasi pembacaan yang tinggi mencapai 98-99% dengan waktu respon (delay) notifikasi darurat yang stabil dalam rentang 1 hingga 5 detik.
- Efektivitas Monitoring: Integrasi basis data Firebase dan bot Telegram melalui perintah `"/kondisi"` terbukti efektif mempermudah petugas dalam melakukan audit keamanan aset dokumen secara real-time tanpa batasan jarak.
- Efektivitas Monitoring: Integrasi basis data Firebase dan bot Telegram melalui perintah `"/kondisi"` terbukti efektif mempermudah petugas dalam melakukan audit keamanan aset dokumen secara real-time tanpa batasan jarak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Khan, Z. Xu, J. Sun, F. M. Khan, A. Ahmed, and Y. Zhao, "Recent Advances in Sensors for Fire Detection," 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/s22093310>.
- [2] Y. A. Ahmad, "On the Evaluation of DHT22 Temperature Sensor for IoT Application," 2021, doi: [10.1109/ICCCE50029.2021.9467147](https://doi.org/10.1109/ICCCE50029.2021.9467147).
- [3] A. Rehman *et al.*, "Smart Fire Detection and Deterrent System for Human Savior by Using Internet of Things (IoT)," 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/en14175500>.
- [4] L. Kong, J. Li, S. Guo, X. Zhou, and D. Wu, "JOURNAL of CIVIL ENGINEERING COMPUTER VISION BASED EARLY FIRE-DETECTION AND FIREFIGHTING MOBILE ROBOTS ORIENTED FOR ONSITE CONSTRUCTION," vol. 30, 2024, doi: <https://doi.org/10.3846/jcem.2024.21360>.
- [5] J. Eichmann, L. Fern, A. Sol, J. M. Jim, and S. Marco, "Sensors and Actuators : B . Chemical Early fire detection based on gas sensor arrays : Multivariate calibration and validation," vol. 352, 2022, doi: [10.1016/j.snb.2021.130961](https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.130961).
- [6] Supriyanto supriyanto and Nuris Dwi Setiawan, "Rancang Bangun Sistem Real-Time Monitoring Suhu dan Kelembaban Menggunakan ESP32," *Elkom J. Elektron. dan Komput.*, vol. 18, no. 1, pp. 447–457, 2025, doi: [10.51903/elkom.v18i1.3064](https://doi.org/10.51903/elkom.v18i1.3064).
- [7] Z. Saloom, I Gde Putu Wirarama Wedashwara W, and Ahmad Zafrullah M, "Sistem Monitoring Deteksi Kebakaran Bangunan Berbasis IOT dan Android dengan Google Maps API," *J. Comput. Sci. Informatics Eng.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–10, 2023, doi: [10.29303/jcosine.v7i1.383](https://doi.org/10.29303/jcosine.v7i1.383).
- [8] M. V. Gultom and I. S. Putro, "Sistem Deteksi Kebakaran Berbasis Iot Dengan Mikrokontroler Esp32," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 2, 2025, doi: [10.23960/jitet.v13i2.6236](https://doi.org/10.23960/jitet.v13i2.6236).

- [9] M. A. Najib, S. Sulartopo, D. Sasmoko, D. Danang, and I. S. Suasana, "Sistem Pendeteksi Bencana Kebakaran Menggunakan ESP32 Dan Arduino Berbasis WEB (Studi Kasus di Toko Citra Berkah Karangawen Demak)," *Neptunus J. Ilmu Komput. Dan Teknol. Inf.*, vol. 2, no. 1, pp. 15–24, 2024, doi: 10.61132/neptunus.v2i1.62.
- [10] O. B. Nurrohim, R. & Kharisma, P. Studi Teknik Elektro, F. Sains dan Teknologi Program Studi Teknik Elektro, F. Sains dan Teknologi UIN Sultan Syarif Kasim Riau UIN Sultan Syarif Kasim Riau UIN Sultan Syarif Kasim Riau UIN Sultan Syarif Kasim Riau Pekanbaru, and R. Pekanbaru, "Nurrohim, R., & Kharisma, O. B. (2023). Autonomus Call System Berbasis ESP32 Untuk Peringatan Dini Kebakaran Rumah. Jurnal Sistem Cerdas, 6(2), 134–143," *J. Sist. Cerdas*, vol. 06, no. 02, pp. 134–143, 2023, doi: 10.37396/jsc.v6i2.305.
- [11] U. A. Saputro and A. Tuslam, "Sistem Deteksi Kebakaran Berbasis Internet Of Things Dengan Pesan Peringatan Menggunakan NodeMCU ESP8266 Dan Platform ThingSpeak," *J. Infomedia*, vol. 7, no. 1, p. 24, 2022, doi: 10.30811/jim.v7i1.2958.
- [12] D. Rizqi Rokhayana, R. Susanto, and M. Muhtarom, "Sistem Pemantauan Kebakaran Pada Kantor Kecamatan Jebres dengan Modul ESP32 Berbasis Internet Of Things," *Smart Comp Jurnalnya Orang Pint. Komput.*, vol. 14, no. 2, pp. 336–344, 2025, doi: 10.30591/smartcomp.v14i2.7382.
- [13] Candra Supriadi, Dwi Setiawan, Lawrence Adi Supriyono, and Safira Fegi Nisrina, "Inovasi Iot Untuk Pengelolaan Dan Keamanan Ruang Arsip: Implementasi Esp32 Dengan Sensor Api Dan Suhu Dht11," *J. Ris. Sist. Inf.*, vol. 1, no. 4, pp. 79–85, 2024, doi: 10.69714/r6pe6h76.
- [14] L. V. Desianti, N. Widowati, and A. Marom, "KUALITAS PELAYANAN PUBLIK DI TEMPAT PEREKAMAN DATA KEPENDUDUKAN (TPDK) DISDUKCAPIL KECAMATAN PEDURUNGAN KOTA SEMARANG," *J. Manag. Public Policy*, vol. 11, no. 3, pp. 1–15, 2022, doi: 10.14710/jppmr.v11i3.34855.
- [15] M Wahidin, A. Elanda, and S. S. Lie, "Implementasi Sistem Pendeteksi Kebakaran Berbasis IoT dan Telegram Menggunakan Nodemcu Pada Kantor Notaris Leodi Chanda Hidayat, S.H., M.Kn," *J. Interkom J. Publ. Ilm. Bid. Teknol. Inf. dan Komun.*, vol. 16, no. 2, pp. 1–8, 2021, doi: 10.35969/interkom.v16i2.104.
- [16] M. A. Najib, A. Syuhada, W. D. Irfiantono, and Sulartopo, "Sistem Pendeteksi Bencana Kebakaran Menggunakan Esp32," *J. Ilm. Teknol. Inf. DAN Komun.*, vol. 14, no. 2, pp. 384–394, 2023, doi: 10.51903/jtikp.v14i2.778.
- [17] M. Amirul Akbar P, Suwadi Nanra, and Jumadri JN, "Perancangan Sistem Alarm Kebakaran Berbasis Iot Untuk Mendeteksi Kebakaran Secara Real-Time," *Zo. Elektro Progr. Stud. Tek. Elektro Univ. Batam*, vol. 14, no. 3, pp. 21–30, 2024, doi: 10.37776/ze.v14i3.1620.
- [18] D. B. Saputra, R. Hidayati, and S. Suhardi, "Sistem Deteksi Dini dan Pemadaman Kebakaran Otomatis di Rumah Berbasis IoT Menggunakan NodeMCU ESP32," *J. Sist. Komput. dan Inform.*, vol. 5, no. 3, p. 581, 2024, doi: 10.30865/json.v5i3.6974.
- [19] A. W. A. Ihsan, Armin, "Penerapan Internet of Things Untuk Monitoring Kinerja Sensor Untuk Deteksi Dini Kebakaran," *J. Sains Terap.*, vol. 10, no. 2, pp. 101–106, 2024, [Online]. Available: <https://jurnal.poltekba.ac.id/index.php/jst/article/view/2307/1144>
- [20] F. Nurlaela, "Implementasi Internet of Things (Iot) Untuk Mendeteksi Kebakaran Ruangan," *J. Ilm. Tek. Mesin, Elektro dan Komput.*, vol. 5, no. 2, pp. 388–401, 2025, doi: 10.51903/juritek.v5i2.4980.
- [21] H. Kurnia Safitri, D. Dewatama, A. Pracoyo, and R. Agung Wicaksono, "Perancangan Sistem Pendeteksi Kebakaran Rumah Menggunakan IoT(Internet of Things)," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 9, no. 3, pp. 294–299, 2023, doi: 10.33795/elkolind.v9i3.4287.
- [22] Amalia Rahman, Lalu Delsi Samsumar, and Muhammad Nasirudin Karim, "Sistem Deteksi Kebakaran Pada Rumah Dengan Notifikasi Whatsapp Berbasis IoT," *J. Comput. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 3, pp. 135–143, 2024, doi: 10.59435/jocstec.v2i3.412.
- [23] F. Sulistyo Budi, R. Hadi Winarno, F. Walen, and S. Shakti, "Sistem IOT Deteksi Dan Kendali Kebakaran Berbasis Sensor IR Infrared dan MQ-2," *Semin. Nas. Teknol. Inf. dan Bisnis*, p. 2025, 2025, doi: 10.47701/j07m2c26.
- [24] J. T. Simanungkalit and B. M. Rambe, "Penerapan IOT Dalam Pendeteksi Gas (CO) Dan Kebakaran Dengan Notifikasi Aplikasi Telegram," *J. Minfo Polgan*, vol. 14, no. 1, pp.

- 691–701, 2025, doi: 10.33395/jmp.v14i1.14843.
- [25] R. Anugrah and R. Nurrahman, “Perancangan Alat Monitoring Kebakaran dan Kebocoran Gas Berbasis IoT,” *J. Ilmu Pengetah. Naratif*, vol. Volume 05, no. Perancangan Alat Monitoring Kebakaran dan Kebocoran Gas Berbasis IoT, p. 2, 2024, [Online]. Available: <https://ijurnal.com/1/index.php/jipn/article/view/243>