



Perancangan Alat Deteksi Kebakaran Berbasis IoT dengan Evaluasi Precision-Recall dan End-To-End Delay

Femas Satria ^{1*}, Muhammad Izman Herdiansyah ², Heri Suroyo ³, dan Nia Oktaviani ⁴

¹ Universitas Bina Darma, Palembang, Sumatera Selatan, e-mail : 211420067@student.binadarma.ac.id

² Universitas Bina Darma, Palembang, Sumatera Selatan, e-mail : m.herdiansyah@binadarma.ac.id

³ Universitas Bina Darma, Palembang, Sumatera Selatan, e-mail : herisuroyo@binadarma.ac.id

⁴ Universitas Bina Darma, Palembang, Sumatera Selatan, e-mail : niaoktaviani@binadarma.ac.id

* Corresponding Author : Femas Satria

Abstract: Fires are disasters that can occur suddenly and cause significant losses to both human lives and property. Conventional detection systems are generally limited to smoke or temperature alarms, making them less accurate and often slow in providing warnings. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based fire detection system capable of providing real-time early fire warnings. The system employs an ESP32 microcontroller connected to a DHT22 sensor to measure temperature and humidity, an MQ-2 sensor for flammable gas detection, and a flame sensor for direct flame detection. Sensor data are transmitted to the Firebase Real-time Database and forwarded as automatic notifications via the Telegram application. Testing was conducted on 400 data samples covering both fire and non-fire conditions, with performance evaluation using Precision, Recall, Accuracy metrics, and End-to-End Delay measurement. The results show an accuracy of 91%, precision of 88.55%, recall of 93.19%, and an average notification delivery delay of 2.804 seconds. These findings indicate that the system can detect fires effectively and responsively on a small scale, with potential for further development through additional sensors and testing in more complex environments.

Keywords: Fire Detection; Internet of Things; ESP32; Firebase; Telegram Bot; Precision; Recall; End-to-End Delay

Abstrak: Kebakaran merupakan bencana yang dapat terjadi secara tiba-tiba dan menyebabkan kerugian besar, baik terhadap keselamatan jiwa maupun harta benda. Sistem deteksi konvensional umumnya hanya berbasis alarm berbasis asap atau suhu, sehingga kurang akurat dan sering terlambat memberikan peringatan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem deteksi kebakaran berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu memberikan peringatan dini secara real-time. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor DHT22 untuk suhu dan kelembapan, MQ-2 untuk mendeteksi gas mudah terbakar, serta flame sensor untuk mendeteksi nyala api. Data dari sensor dikirim ke Firebase Real-time Database dan diteruskan sebagai notifikasi otomatis melalui aplikasi Telegram. Pengujian dilakukan terhadap 400 sampel data yang mencakup kondisi kebakaran dan non-kebakaran, dengan evaluasi performa menggunakan metrik Precision, Recall, Accuracy, dan pengukuran End-to-End Delay. Hasil pengujian menunjukkan akurasi sebesar 91%, precision 88.55%, recall 93.19%, dan rata-rata waktu tunda pengiriman notifikasi sebesar 2,804 detik. Temuan ini menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi kebakaran secara efektif dan responsif pada skala kecil, serta berpotensi dikembangkan lebih lanjut dengan penambahan sensor dan pengujian pada lingkungan yang lebih kompleks.

Kata kunci: Deteksi kebakaran; Internet of Things; ESP32; Firebase; Telegram Bot; Precision; Recall; End-to-End Delay

Received: August 15, 2025

Revised: August 30, 2025

Accepted: November 18, 2025

Published: November 24, 2025

Curr. Ver.: November 24, 2025



Copyright: © 2025 by the authors.

Submitted for possible open

access publication under the

terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC

BY SA) license

(<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

1. Pendahuluan

Kebakaran merupakan salah satu bencana yang kerap terjadi di berbagai lokasi, baik di lingkungan permukiman, bangunan industri, maupun ruang terbuka. Penyebabnya beragam, mulai dari faktor alam seperti suhu tinggi, hingga faktor manusia seperti kelalaian penggunaan api atau korsleting listrik [1]. Dampak yang ditimbulkan sangat merugikan, meliputi kerusakan infrastruktur, gangguan kesehatan akibat asap, dan kerugian ekonomi yang signifikan. Upaya pencegahan melalui sistem deteksi dini menjadi sangat penting untuk mempercepat respons dan meminimalkan kerugian [2].

Kemajuan teknologi Internet of Things (IoT) telah membuka peluang baru dalam membangun sistem deteksi kebakaran yang lebih akurat dan responsif. IoT memungkinkan integrasi berbagai sensor untuk memantau kondisi lingkungan secara real-time. Sensor suhu seperti DHT22 dapat mendeteksi kenaikan suhu yang tidak normal, sensor gas MQ-2 mampu mengenali gas mudah terbakar seperti karbon monoksida dan LPG, sedangkan flame sensor mendeteksi nyala api secara langsung. Kombinasi ini dapat meningkatkan keakuratan deteksi kebakaran dibandingkan metode konvensional yang hanya mengandalkan alarm asap atau laporan manual masyarakat [3][4].

Dalam penelitian ini, data dari ketiga sensor dikirimkan secara terus-menerus ke Firebase Real-time Database untuk disimpan dan dipantau secara daring, kemudian diteruskan sebagai notifikasi otomatis melalui aplikasi Telegram ketika terdeteksi kondisi berbahaya. Pendekatan ini mampu mempercepat penyampaian informasi kepada pengguna, meskipun sistem belum mengintegrasikan perangkat pemadam otomatis atau analisis prediktif berbasis AI [5].

Salah satu tantangan utama dalam perancangan sistem ini adalah membedakan antara kejadian kebakaran sebenarnya dan gangguan lain seperti asap kendaraan atau panas dari peralatan elektronik, guna menghindari terjadinya alarm palsu. Kecepatan pengiriman notifikasi juga menjadi faktor krusial, karena keterlambatan dapat memperlambat respons dan memperparah dampak kebakaran. Faktor lingkungan seperti kelembapan udara, kepadatan asap, dan kualitas jaringan komunikasi juga berpotensi memengaruhi performa deteksi [6].

Penelitian ini mengusulkan perancangan dan implementasi sistem deteksi kebakaran berbasis IoT yang memantau parameter suhu, gas, dan api secara real-time, serta mengirimkan peringatan otomatis melalui Telegram. Evaluasi kinerja dilakukan menggunakan metrik Precision, Recall, dan Accuracy untuk mengukur ketepatan deteksi, serta End-to-End Delay untuk menilai kecepatan respons sistem. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi dan dasar pengembangan sistem deteksi kebakaran yang lebih akurat, cepat, dan adaptif terhadap kondisi lingkungan nyata, sehingga dapat dimanfaatkan oleh akademisi, peneliti, maupun praktisi teknologi dalam meningkatkan kesiapsiagaan terhadap bahaya kebakaran [7].

2. Kajian Pustaka atau Penelitian Terkait

2.1. Internet of Things

Internet of Things (IoT) adalah konsep yang memperluas konektivitas internet ke perangkat fisik seperti sensor, mikrokontroler, dan aktuator, sehingga perangkat dapat saling berkomunikasi dan bertukar data secara otomatis melalui jaringan internet [8]. Karakteristik utama IoT meliputi konektivitas, otonomi, dan kemampuan pemantauan secara real-time [9]. Perangkat IoT umumnya menggunakan jaringan nirkabel seperti Wi-Fi atau Bluetooth, dan interoperabilitasnya memungkinkan berbagai perangkat dari produsen berbeda bekerja sama jika mengikuti protokol komunikasi yang sama.

IoT telah diterapkan di berbagai sektor, mulai dari smart home, kesehatan, transportasi, hingga pengawasan lingkungan [10]. Dalam deteksi kebakaran, IoT memungkinkan penggabungan berbagai sensor yang terhubung ke cloud, sehingga data dapat dianalisis secara cepat dan notifikasi dikirim otomatis kepada pengguna [11].

2.2 Sistem Deteksi Kebakaran

Sistem deteksi kebakaran dirancang untuk memberikan peringatan dini sehingga tindakan dapat diambil sebelum api menyebar. [12] menjelaskan bahwa kemajuan IoT memungkinkan deteksi parameter suhu, asap, dan api secara otomatis. [13] merancang prototipe dengan sensor MQ-2 dan flame sensor untuk mendeteksi gas dan api secara real-time, sedangkan [14] menggunakan sensor DHT22 untuk mendeteksi kebakaran hutan dan mengirimkan data ke instansi penanggulangan bencana. Penelitian oleh Iqbal [15] juga menunjukkan bahwa simulasi sistem IoT dapat digunakan untuk pemantauan dan pencatatan data kebakaran secara real-time, yang relevan dengan pendekatan sistem ini dalam penyampaian notifikasi otomatis melalui cloud dan aplikasi Telegram.

Perbedaan penelitian ini terletak pada penggunaan ESP32 dengan platform Firebase Real-time Database dan Telegram Bot untuk mengirimkan notifikasi langsung ke pengguna tanpa pihak ketiga, sehingga respons dapat dilakukan lebih cepat.

2.3 MQ-2

Sensor MQ-2 digunakan untuk mendeteksi gas mudah terbakar seperti LPG, metana, karbon monoksida, hidrogen, dan asap hasil pembakaran. Prinsip kerjanya berdasarkan perubahan resistansi bahan semikonduktor SnO_2 yang dipengaruhi oleh konsentrasi gas di lingkungan. Nilai analog yang dihasilkan diubah menjadi ppm untuk meningkatkan akurasi deteksi [16].

2.4 DHT22

Sensor DHT22 adalah sensor digital untuk mengukur suhu dan kelembapan dengan akurasi $\pm 0.5^\circ\text{C}$ dan $\pm 2\text{--}5\%$ RH [17]. Dalam deteksi kebakaran, sensor ini digunakan untuk mengidentifikasi kenaikan suhu dan penurunan kelembapan yang menjadi indikator awal kebakaran.

2.5 Flame Sensor

Flame sensor mendeteksi nyala api melalui radiasi inframerah pada panjang gelombang 760–1100 nm. Sensor ini memiliki keluaran digital dengan logika aktif rendah (LOW) saat api terdeteksi. Sensitivitasnya dapat diatur untuk menghindari deteksi palsu akibat cahaya lain [18].

2.6 Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler *dual-core* 32-bit dengan memori besar dan konektivitas Wi-Fi serta Bluetooth bawaan, sehingga ideal untuk aplikasi IoT yang memerlukan pengiriman data *real-time* [19]. Dibandingkan NodeMCU ESP8266, ESP32 memiliki kinerja lebih tinggi dan fitur lebih lengkap, yang penting dalam sistem deteksi kebakaran berbasis IoT.

2.7 Firebase Real-time Database

Firebase adalah layanan *cloud* NoSQL yang mendukung penyimpanan dan sinkronisasi data secara *real-time*. [20] memanfaatkannya untuk menyimpan data sensor gas dan api yang dikirim NodeMCU ESP8266, sedangkan penelitian ini menggunakan ESP32 untuk mengirim data suhu, asap, dan api ke Firebase agar dapat dipantau jarak jauh.

2.8 Telegram Bot API

Telegram Bot API memungkinkan pembuatan bot yang dapat mengirimkan notifikasi otomatis ke pengguna. [21] menggunakan bot ini untuk mengirim informasi kualitas udara dari sistem IoT. Penelitian ini menerapkan metode serupa untuk mengirim peringatan kebakaran berdasarkan data dari ESP32, sehingga pengguna dapat segera merespons tanpa membuka aplikasi pemantauan manual.

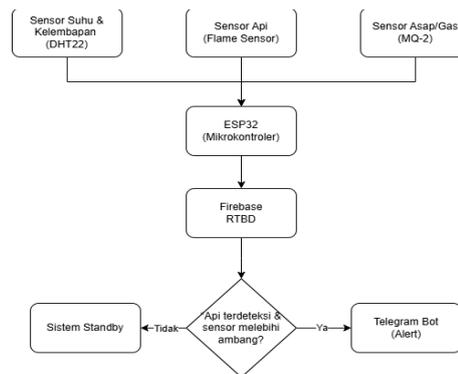
3. Metode yang Diusulkan

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen untuk merancang, membangun, dan menguji sistem deteksi kebakaran berbasis Internet of Things (IoT). Sistem ini menginte-

grasikan tiga sensor utama, yaitu DHT22 untuk suhu dan kelembapan, MQ-2 untuk gas dan asap, serta flame sensor untuk deteksi nyala api. Seluruh sensor dihubungkan ke mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat kendali, dengan koneksi Wi-Fi untuk mengirimkan data ke Firebase Real-time Database dan meneruskan notifikasi otomatis melalui Telegram Bot.

3.1 Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem dirancang untuk memantau kondisi lingkungan secara *real-time*. Data sensor dibaca secara berkala oleh ESP32, kemudian dikirim ke Firebase menggunakan koneksi *Wi-Fi*. Firebase menyimpan data tersebut secara *real-time* sehingga dapat diakses dari berbagai perangkat. Jika nilai sensor melebihi ambang batas, sistem mengirimkan notifikasi peringatan ke pengguna melalui Telegram Bot. Diagram blok sistem ditunjukkan pada Gambar 1.



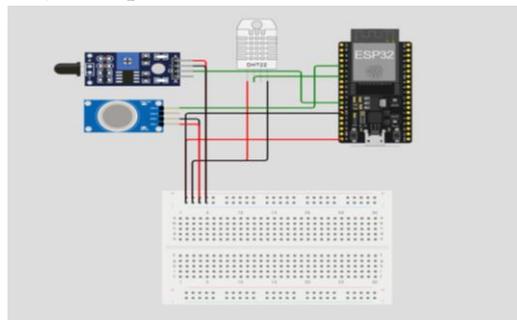
Gambar 1. Diagram blok sistem deteksi kebakaran berbasis IoT

3.2 Desain Perangkat Keras

Rangkaian sistem terdiri dari:

- a. DHT22 dihubungkan ke pin digital GPIO33 untuk membaca suhu dan kelembapan.
- b. MQ-2 dihubungkan ke pin analog GPIO34 untuk membaca konsentrasi gas dalam satuan ppm.
- c. Flame Sensor dihubungkan ke pin digital GPIO14 untuk mendeteksi nyala api.
- d. ESP32 sebagai mikrokontroler utama yang memproses data dan mengirimkannya ke *cloud*.

Seluruh komponen dirakit menggunakan breadboard sebagai media penghubung sementara, dengan suplai daya dari port USB ESP32.

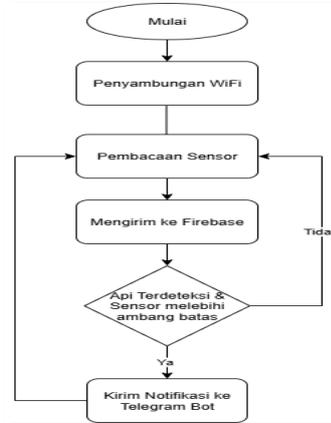


Gambar 2. Skema wiring rangkaian sistem deteksi kebakaran berbasis IoT

3.3 Desain Perangkat Lunak

Pemrograman dilakukan menggunakan Arduino IDE. Program mengatur pembacaan data dari sensor, konversi nilai analog ke satuan fisik (°C, %RH, ppm), dan logika pengiriman data ke Firebase. Sistem hanya mengirimkan notifikasi jika minimal dua parameter berada pada kondisi bahaya, salah satunya adalah deteksi api. Ambang batas ditetapkan sebagai berikut:

Kondisi	Suhu (DHT22)	Gas (MQ-2)	Flame Sensor	Status Sistem
Normal	< 36 °C	< 200 PPM	Tidak ada api	Normal
Indikasi Kebakaran	≥ 36 °C atau ≥ 200 PPM	Salah satu melebihi ambang	Tidak ada api	Peringatan (<i>Warning</i>)
Kebakaran Sebenarnya	≥ 36 °C	≥ 200 PPM	Ada api	Kebakaran (<i>Fire Alert</i>)
Kondisi	Suhu (DHT22)	Gas (MQ-2)	Flame Sensor	Status Sistem



Gambar 3. Diagram alir (flowchart) sistem deteksi kebakaran berbasis IoT

3.4 Metode Evaluasi

Evaluasi sistem dilakukan untuk mengukur ketepatan deteksi dan kecepatan respons sistem deteksi kebakaran berbasis IoT. Pengujian dilakukan terhadap 400 sampel yang mewakili berbagai kondisi, baik kebakaran maupun non-kebakaran. Penentuan kondisi kebakaran sebenarnya (*ground truth*) mengikuti kriteria ambang batas yang telah dijelaskan pada subbab 3.3.

Kinerja sistem diukur menggunakan tiga metrik utama:

a. Precision

persentase deteksi kebakaran yang benar dari seluruh deteksi kebakaran oleh sistem.

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \tag{1}$$

b. Recall

persentase kebakaran yang berhasil terdeteksi dari seluruh kebakaran sebenarnya.

$$Recal = \frac{TP}{TP+FN} \tag{2}$$

c. Accuracy

persentase deteksi benar (baik kebakaran maupun tidak) dari seluruh pengujian.

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \tag{3}$$

Selain itu, waktu tunda (*end-to-end delay*) juga diukur sejak sensor mendeteksi kebakaran hingga notifikasi diterima pengguna. Komponen waktu yang dihitung meliputi:

- T_s : waktu pembacaan sensor
- T_{srv} : waktu pengiriman data ke Firebase
- T_n : waktu pengiriman notifikasi ke Telegram

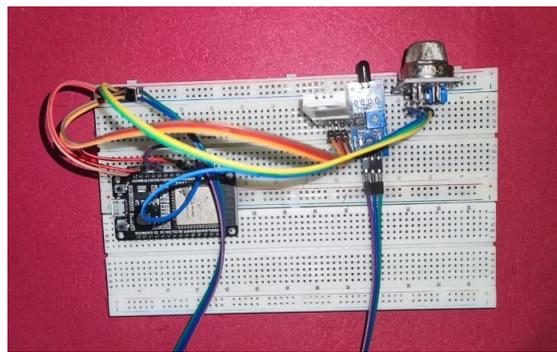
$$Delay = Ts + Tsrv + Tn \tag{4}$$

4. Hasil dan Pembahasan

Sistem deteksi kebakaran berbasis IoT ini telah diimplementasikan dengan menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pengendali utama. Sensor suhu dan kelembapan DHT22, sensor gas MQ-2, serta flame sensor dirakit menggunakan breadboard dan dihubungkan ke ESP32 menggunakan kabel jumper. Seluruh rangkaian diberi catu daya dari koneksi USB.

Data dari sensor dibaca secara berkala oleh ESP32 dan dikirimkan ke Firebase Real-time Database melalui koneksi Wi-Fi. Ketika kondisi berbahaya terdeteksi, seperti suhu $\geq 36^{\circ}\text{C}$, gas ≥ 200 PPM, dan terdeteksi api, sistem akan mengirimkan peringatan otomatis ke Telegram Bot pengguna.

Implementasi ini juga melibatkan pemrograman ESP32 menggunakan Arduino IDE, dengan kode yang mengatur pembacaan sensor, pengiriman data ke cloud, serta pengiriman notifikasi. Hasil implementasi fisik dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 4. Implementasi prototipe sistem deteksi kebakaran berbasis IoT

4.1 Proses Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem deteksi kebakaran yang telah dirancang, dengan menempatkan alat pada beberapa objek potensial sumber kebakaran. Objek yang digunakan dalam simulasi ini meliputi kompor gas, kompor pemanggang, rumput kering, dan kayu, yang masing-masing mewakili kondisi panas, gas mudah terbakar, serta material alami yang rentan terbakar.

Pengujian dilakukan secara langsung dengan menyimulasikan kondisi kebakaran kecil pada objek tersebut. Setiap pengujian dilakukan dengan memperhatikan kondisi lingkungan sekitar, dan hasil dari pembacaan sensor direkam secara real-time ke Firebase dan dikirimkan sebagai notifikasi ke Telegram. Total 400 data pengujian dikumpulkan untuk keperluan evaluasi sistem.

Untuk memperkuat hasil, pengujian pada objek rumput kering dan kayu juga didokumentasikan secara visual. Gambar 5 dan Gambar 6 berikut menunjukkan implementasi pengujian secara langsung terhadap dua objek tersebut.



Gambar 5. Pengujian sistem terhadap objek kayu pada jarak 30 cm



Gambar 6. Pengujian sistem terhadap objek rumput kering pada jarak 30 cm

4.2 Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan sebanyak 400 kali pada siang dan malam menggunakan empat jenis objek berbeda, yaitu kompor gas, kompor pemanggang, rumput kering, dan kayu. Setiap pengujian mencakup pembacaan data dari ketiga sensor (DHT22, MQ-2, dan flame sensor), yang kemudian diproses oleh sistem untuk menentukan apakah kondisi termasuk indikasi kebakaran atau tidak.

Table 1. Contoh hasil pengujian sistem deteksi kebakaran

Objek	Api	Gas PPM	Jenis Gas	Jarak	Kelembapan (%)	Suhu (°C)	Indikasi Kebakaran	Kebakaran Sebenarnya
Kompor Gas	TIDAK	221,93	LPG atau asap ringan	1Meter	72	34,2	TIDAK	TIDAK
	TIDAK	211,51	LPG atau asap ringan	1Meter	72,6	32,4	TIDAK	TIDAK
Kompor Pemanggang	TERDETEKSI	259	LPG atau asap ringan	30CM	51,5	42,9	YA	TIDAK
	TIDAK	240	CO atau uap alkohol	30CM	54	41	TIDAK	YA
Rumput Kering	TERDETEKSI	199	CO atau uap alkohol	30CM	71,4	46,5	YA	TIDAK
	TIDAK	197	CO atau uap alkohol	30CM	69,8	47,1	TIDAK	YA
Kayu	TERDETEKSI	552	Asap pekat atau bahan kimia	30CM	27,9	63,6	YA	YA
	TERDETEKSI	565	Asap pekat atau bahan kimia	30CM	27,2	64,8	YA	YA

Setelah dilakukan pengujian terhadap 400 sampel data yang mencakup kondisi kebakaran dan non-kebakaran, dilakukan evaluasi terhadap kemampuan sistem dalam mengklasifikasikan setiap kondisi. Hasil pengujian dikategorikan ke dalam empat kelompok, yaitu True Positive (TP), False Positive (FP), False Negative (FN), dan True Negative (TN). Rincian hasil klasifikasi ditunjukkan pada Tabel 2.

Table 2. Rekapitulasi hasil evaluasi sistem (TP, FP, FN, TN)

Kategori	Jumlah
True Positive (TP)	178
False Positive (FP)	23
False Negative (FN)	13
True Negative (TN)	186

Berdasarkan data tersebut, evaluasi sistem dilakukan dengan menghitung nilai Precision, Recall, dan Accuracy menggunakan rumus sebagai berikut:

a. Precision

$$\begin{aligned}
 \text{Precision} &= \frac{TP}{TP + FP} \\
 &= \frac{178}{178 + 23} \\
 &= \frac{178}{201} \\
 &= 0.8855 \\
 &= 88.55\%
 \end{aligned}$$

Dari seluruh notifikasi kebakaran yang dikirim sistem, sekitar 88.55% benar-benar terjadi.

b. Recall

$$\begin{aligned}
 \text{Recall} &= \frac{TP}{TP + FN} \\
 &= \frac{178}{178 + 13} \\
 &= \frac{178}{191} \\
 &= 0.9319 \\
 &= 93.19\%
 \end{aligned}$$

Sistem berhasil mendeteksi sekitar 93.19% dari seluruh kejadian kebakaran yang sebenarnya terjadi.

c. Accuracy

$$\begin{aligned}
 \text{Accuracy} &= \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \\
 &= \frac{178 + 186}{178 + 23 + 186 + 13} \\
 &= \frac{364}{400}
 \end{aligned}$$

$$= 0.91$$

$$= 91\%$$

Sistem memberikan hasil deteksi yang benar pada 91% dari seluruh kasus pengujian.

Selain evaluasi akurasi, sistem juga diuji dari sisi kecepatan pengiriman notifikasi dengan menghitung End-to-End Delay (E2ED). End-to-End Delay dihitung berdasarkan tiga komponen waktu, yaitu:

Nilai dari masing-masing komponen waktu dapat dilihat pada Tabel berikut:

Table 3. Hasil Pengukuran Waktu Tunda Sistem

Keterangan	Nilai (ms)	Detik
Waktu pembacaan data oleh sensor (T_s)	6	0.006
Waktu pemrosesan dan pengiriman ke server (T_{srv})	152	0.152
Waktu pengiriman notifikasi ke Telegram (T_n)	2646	2.647

Perhitungan End-to-End Delay dilakukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{End - to End Delay} &= T_s + T_{srv} + T_n \\ &= 0.006 + 0.152 + 2.646 \\ &= 2.804 \text{ detik} \end{aligned}$$

Rata-rata waktu yang dibutuhkan sistem untuk mengirimkan notifikasi kebakaran ke pengguna adalah 2.804 detik, sehingga sangat mendukung sistem peringatan dini secara Real-time. Waktu respons yang cepat ini penting agar pengguna dapat segera mengambil tindakan mitigasi kebakaran.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem deteksi kebakaran yang dikembangkan memiliki nilai *accuracy* sebesar 91% dan rata-rata *end-to-end delay* sebesar 2,804 detik. Nilai ini menunjukkan peningkatan performa dibandingkan penelitian [13] oleh Nugraha dan Satria (2022) yang menggunakan Arduino Uno dengan akurasi 87% dan waktu tunda rata-rata 3,5 detik. Selain itu, hasil ini juga sejalan dengan penelitian [7] oleh Erfandi dkk. (2025) yang menggunakan sistem IoT berbasis NodeMCU dengan pengiriman notifikasi Telegram, namun memiliki *delay* sedikit lebih tinggi yaitu sekitar 3 detik. Dengan demikian, penggunaan mikrokontroler ESP32 dan Firebase Real-time Database dalam penelitian ini terbukti mampu meningkatkan kecepatan pengiriman notifikasi serta ketepatan deteksi kebakaran secara *real-time*.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian, sistem deteksi kebakaran berbasis IoT menggunakan ESP32, DHT22, MQ-2, dan flame sensor terbukti mampu mendeteksi kebakaran secara real-time dengan memantau suhu, konsentrasi gas, dan nyala api. Integrasi sistem dengan Firebase Realtime Database dan Telegram Bot memungkinkan pengiriman notifikasi secara cepat kepada pengguna. Evaluasi kinerja menunjukkan bahwa sistem memiliki Precision 88,55%, Recall 93,19%, dan Accuracy 91%, yang menandakan kemampuan deteksi yang cukup akurat serta mampu meminimalkan alarm palsu. Selain itu, pengukuran End-to-End Delay menunjukkan rata-rata waktu pengiriman notifikasi sebesar 2,804 detik, sehingga sistem memberikan respons yang cepat dan mendukung mitigasi kebakaran secara efektif.

Meskipun demikian, sistem masih dapat dikembangkan lebih lanjut melalui penambahan sensor, peningkatan akurasi pengukuran, serta pengujian pada lingkungan yang lebih kom-

pleks. Pengembangan berikutnya juga dapat difokuskan pada integrasi dengan sistem pemadam otomatis dan penerapan teknologi edge computing, sehingga proses deteksi dan notifikasi dapat berjalan lebih cepat serta tetap berfungsi optimal meskipun koneksi internet tidak stabil.

Secara keseluruhan, sistem ini terbukti efektif dan responsif pada skala kecil, serta memiliki potensi untuk diterapkan di berbagai lingkungan guna meningkatkan kesiapsiagaan terhadap bahaya kebakaran.

Daftar Pustaka

- [1] M. V. Gultom and I. S. Putro, "Sistem Deteksi Kebakaran Berbasis IoT dengan Mikrokontroler ESP32," *J. Informatika dan Teknik Elektro Terapan (JITET)*, vol. 13, no. 2, 2025. doi: 10.23960/jitet.v13i2.62364.
- [2] I. P. Anhar, R. Mardiana, and R. Sita, "Dampak Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut terhadap Manusia dan Lingkungan Hidup (Studi Kasus: Desa Bunsur, Kecamatan Sungai Apit, Kabupaten Siak, Provinsi Riau)," *J. Sains Komunikasi dan Pengembangan Masyarakat (JSKPM)*, vol. 6, no. 1, pp. 75–85, 2022. doi: 10.29244/jskpm.v6i1.967.
- [3] S. A. Pambudi, I. M. Rahma, B. Artono, Y. Prasetyo, and I. B. Sumafta, "Sistem Monitoring Alat Pendeteksi Dan Pemadam Kebakaran Hutan Bertenaga Solar Cell Berbasis Internet of Things (IoT)," *JEECAE: J. Electr., Electron., Control and Automotive Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 13–21, May 2023.
- [4] S. Suhartini, M. Peslinof, and M. F. Afrianto, "Rancang Bangun Sistem Deteksi Kebakaran pada Ruangan Berbasis Internet of Things (IoT)," *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi)*, vol. 7, no. 3, pp. 329–338, Apr. 2023.
- [5] 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, p. 691, May 2025, doi: 10.33395/jmp.v14i1.14843.
- [6] P. Kurniawan, H. Yono, and F. Nofandi, "Analisis Kinerja Alarm Kebakaran untuk Keselamatan di Atas Kapal," *Dinamika Bahari*, vol. 1, no. 2, pp. 98–103, Oct. 2020.
- [7] Z. Erfandi, D. Hartanti, and J. Maulindar, "Implementasi Internet of Things (IoT) Untuk Sistem Pemantauan Kebakaran Dini Dengan Notifikasi Telegram dan Alarm," *Infotek: J. Informatika dan Teknologi*, vol. 8, no. 1, pp. 86–93, Jan. 2025, doi: 10.29408/jit.v8i1.28248.
- [8] F. T. Arumsari, J. Maulindar, and A. I. Pradana, "Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Kebakaran Berbasis Internet of Things," *INFOTECH Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 175–182, Mei. 2023.
- [9] W. Najib, S. Sulistyono, and Widyawan, "Tinjauan Ancaman dan Solusi Keamanan pada Teknologi Internet of Things (Review on Security Threat and Solution of Internet of Things Technology)," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inform.*, vol. 9, no. 4, Nov. 2020.
- [10] F. Susanto, N. K. Prasiani, and P. Darmawan, "Implementasi Internet of Things dalam Kehidupan Sehari-hari," *J. IMAGINE*, vol. 2, no. 1, Apr. 2022.
- [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: Tek. Inf., Multimedia & Jaringan*, vol. 7, no. 1, pp. 24–30 Jun. 2022.
- [12] D. A. Handoko and A. Priyadi, "Sistem Deteksi Kebakaran Berbasis IoT: Studi Kasus PT Maju Jaya Windraya Ambarawa," *J. GO INFOTECH*, vol. 31, no. 1, Jun. 2025, doi: 10.36309/goi.v31i1.358.
- [13] D. A. Nugraha and B. Satria, "Prototype Alat Pendeteksi Kebakaran Menggunakan Sensor Flame dan MQ-2 Berbasis Arduino Uno," *Indonesian J. Comput. Sci.*, vol. 11, no. 3, p. 936, 2022.
- [14] Suherman, R. Wahyuni, A. Muhaimin, and Y. Irawan, "Sistem Pendeteksi Dini Kebakaran untuk Penanggulangan Bencana Lingkungan Kebakaran Hutan dan Lahan di Provinsi Riau," *J. Rekayasa Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 4, no. 2, pp. 148–154, 2024.
- [15] M. Iqbal, "Aplikasi Simulasi IoT untuk Smart Sistem Monitoring dan Data Logging Real-Time Sistem Peringatan Kebakaran," *Reputasi: J. Rekayasa Perangkat Lunak*, vol. 6, no. 1, pp. 52–57, May 2025.
- [16] R. A. Nuryadin, A. R. Yusuf, M. Reza, N. F. Alifian, and P. S. D. A.K, "Prototype Sistem Deteksi Kebakaran Menggunakan Sensor MQ-2 dan Flame Sensor Berbasis IoT," *J. Riset dan Apl. Mahasiswa Informatika (JRAMI)*, vol. 5, no. 4, 2024, e-ISSN: 2715-8756.
- [17] Y. A. Susetyo, H. A. Parhusip, and S. Trihandaru, "Herbs Go Digital: IoT Monitors Temperature and Humidity Automatically," *COGITO Smart J.*, vol. 10, no. 2, pp. 312, Dec. 2024.
- [18] M. N. Fachry, H. S. Syah, and Sungkono, "Rancang Bangun Sistem Pemadam Kebakaran Berbasis Internet of Things," *J. Tek. Elektro dan Informatika*, vol. 16, no. 2, pp. 65–74, 2021.
- [19] M. F. Wicaksono and M. D. Rahmatya, "Implementasi Arduino dan ESP32 CAM untuk Smart Home," *J. Teknol. dan Inform. (JATI)*, vol. 10, no. 1, Mar. 2020, doi: 10.34010/jati.v10i1.
- [20] A. S. Mustaqim, D. Kurnianto, and F. T. Syifa, "Implementasi Teknologi Internet of Things pada Sistem Pemantauan Kebocoran Gas LPG dan Kebakaran Menggunakan Database Pada Google Firebase," *Elektron J. Ilmiah*, vol. 12, no. 1, p. 34, Jun. 2020.
- [21] O. E. Yudhistira and I. Suharjo, "Prototype Pendeteksi Kebakaran Multiruang Menggunakan NodeMCU ESP8266 dengan Notifikasi Bot Telegram," *J. Informatika dan Tek. Elektro Terapan (JITET)*, vol. 13, no. 1, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i1.5992.