

# PENINGKATAN AKURASI DETEKSI DINI KEBAKARAN BERBASIS IOT MENGUNAKAN ALGORITMA RANDOM FOREST

**Ruth Amelia Vega S. Meliala<sup>1)</sup>, Dedy Kiswanto<sup>2)</sup>, Freyro Dobry Sianipar<sup>3)</sup>, Fauzan Azima Lubis<sup>4)</sup>**

1. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan  
email: [Sayaruthamelia07@gmail.com](mailto:Sayaruthamelia07@gmail.com)
2. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan  
email: [dedykiswanto@unimed.ac.id](mailto:dedykiswanto@unimed.ac.id)
3. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan  
email: [freyrodobry@gmail.com](mailto:freyrodobry@gmail.com)
4. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan  
email: [azimafauzan018@gmail.com](mailto:azimafauzan018@gmail.com)

## **Abstract**

*Fire is one of the most frequent disasters and poses a significant risk to human safety, environmental sustainability, and property due to delayed early detection. This study aims to design and implement an early fire warning system based on the Internet of Things (IoT) enhanced with Machine Learning to improve detection accuracy and reliability. The system utilizes an ESP32 microcontroller as an edge node integrated with a DHT11 sensor for temperature and humidity, an MQ-2 sensor for gas and smoke concentration, and a flame sensor for fire detection. Multisensor data are transmitted in real time to a Flask-based server via the HTTP protocol and processed using a Random Forest classification model to determine environmental conditions as either safe or fire-hazardous. The classification results are displayed on a web-based dashboard and accompanied by automatic notifications delivered through a Telegram bot. Experimental results show that the proposed system achieves a detection accuracy of 94%, a low false positive rate, and a notification latency of less than 3 seconds, based on experiments conducted using a dataset of 3000 samples with an 80:20 split between training and testing data. The integration of IoT and Machine Learning demonstrates superior performance compared to conventional threshold-based methods, making the system a promising preventive solution for fire risk mitigation in residential and industrial environments.*

**Kata Kunci:** *Internet of Things, Fire Early Warning System, Machine Learning, Random Forest, ESP32*

## **A. PENDAHULUAN**

Kebakaran merupakan salah satu bencana yang paling sering terjadi dan memiliki potensi kerusakan yang sangat besar, baik terhadap harta benda,

lingkungan, maupun keselamatan jiwa manusia. Insiden ini seringkali disebabkan oleh faktor kelalaian manusia, korsleting listrik, maupun faktor alam yang tidak terduga (Aulia & Munasir, 2022; Napu et

al., 2022; Setyasmara, 2021). Masalah utama yang sering dihadapi dalam mitigasi bencana ini adalah keterlambatan informasi mengenai titik api awal, yang menyebabkan api membesar sebelum tindakan penanggulangan dapat dilakukan (Napu et al., 2022; Satria, 2023). Oleh karena itu, pengembangan sistem peringatan dini yang responsif dan akurat menjadi kebutuhan mendesak untuk meminimalisir kerugian yang ditimbulkan (Anggoro Saputro & Tuslam, 2022; Mulyadi et al., 2023; Zulkifli et al., 2024).

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) telah menawarkan solusi signifikan dalam pemantauan kondisi lingkungan secara *real-time*. Berbagai penelitian terdahulu telah mengimplementasikan sistem deteksi kebakaran menggunakan mikrokontroler seperti Arduino Uno, NodeMCU ESP8266, dan ESP32 yang terintegrasi dengan berbagai sensor. Sensor yang umum digunakan meliputi sensor api (*flame sensor*) untuk mendeteksi spektrum cahaya api (Akbar Nuryadin et al., 2024; Dzikhrullah & Budiarmo, 2023; Salindeho & Wellem, 2023), sensor asap dan gas (seperti MQ-2 dan MQ-6) untuk mendeteksi partikel pembakaran atau kebocoran gas (Napu et al., 2022; Satria, 2023), serta sensor suhu (DHT11/DHT22) untuk memantau kenaikan panas ruangan (Iqbal, 2025; Setyasmara, 2021)

Sistem berbasis IoT konvensional umumnya bekerja dengan mengirimkan notifikasi melalui aplikasi *mobile* seperti Blynk (Akbar Nuryadin et al., 2024; Zulkifli et al., 2024) Telegram (Salindeho & Wellem, 2023), layanan pesan singkat (SMS Gateway) (Satria, 2023) atau platform *cloud* seperti ThingSpeak (Akbar Nuryadin et al., 2024) dan Thingier.io (Salindeho & Wellem, 2023). Beberapa sistem bahkan telah dilengkapi dengan aktuator otomatis, seperti pompa air atau kipas (*exhaust fan*), yang aktif ketika sensor mendeteksi parameter bahaya

(Napu et al., 2022; Zulkifli et al., 2024), Namun, mayoritas sistem tersebut masih mengandalkan metode *thresholding* (ambang batas) sederhana atau logika *if-else* konvensional untuk menentukan status bahaya. Pendekatan ini terkadang memiliki keterbatasan dalam akurasi pengambilan keputusan pada kondisi lingkungan yang dinamis dan kompleks.

Untuk meningkatkan kecerdasan dan akurasi sistem, integrasi antara IoT dan *Machine Learning* (ML) menjadi pendekatan yang menjanjikan. Studi literatur menunjukkan bahwa kombinasi IoT dan ML dapat meningkatkan efisiensi, keamanan, dan keberlanjutan sistem dengan memanfaatkan data sensor untuk prediksi yang lebih presisi (Konasara et al., 2025). Penerapan ML pada perangkat IoT (Edge AI) telah terbukti berhasil di berbagai bidang, seperti pada optimalisasi penggunaan energi listrik rumah tangga menggunakan algoritma K-Nearest Neighbors (K-NN) (Piu et al., 2024), serta pada sektor pertanian cerdas (*smart greenhouse*) untuk pemantauan nutrisi dan hama (Kristianto et al., 2023). Selain itu, penggunaan simulasi berbasis perangkat lunak seperti Wokwi juga telah digunakan untuk memvalidasi logika sistem sebelum implementasi fisik dilakukan, guna memastikan keandalan data *logging* secara *real-time* (Fahriyansyah et al., 2025; Iqbal, 2025).

Berdasarkan paparan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem peringatan dini kebakaran yang tidak hanya berbasis IoT, tetapi juga diperkuat dengan algoritma *Machine Learning*. Sistem ini dirancang untuk mengolah data dari multisensor guna memberikan keputusan deteksi yang lebih akurat dan responsif. Dengan menggabungkan konektivitas IoT untuk pemantauan jarak jauh dan kecerdasan buatan untuk analisis data, diharapkan sistem ini dapat menjadi solusi preventif yang efektif dalam

menanggulangi risiko kebakaran di lingkungan perumahan maupun industri.

## B. METODE PENELITIAN

### Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development* (R&D) dalam bidang sistem *embedded* dan kecerdasan buatan. Tujuannya adalah merancang, mengimplementasikan, dan menguji prototipe sistem peringatan dini kebakaran yang menggabungkan sensor IoT dan model *Machine Learning*. Pengembangan dilakukan secara iteratif melalui tahapan: (1) perancangan arsitektur sistem, (2) integrasi perangkat keras dan perangkat lunak, (3) pelatihan dan *deployment* model ML, serta (4) pengujian fungsional dan validasi akurasi.

### Arsitektur Sistem

Sistem dirancang dengan arsitektur berbasis tiga lapis yang terintegrasi secara *real-time*. Pada lapisan pertama, yaitu lapisan sensor, mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai *node edge* yang mengumpulkan data dari tiga sensor utama: DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban, MQ-2 untuk mendeteksi konsentrasi gas atau partikel asap, serta *Flame Sensor* untuk mendeteksi keberadaan api melalui spektrum cahaya inframerah. Data dari ketiga sensor dibaca secara berkala (setiap 5 detik) dan dikirim ke server melalui koneksi Wi-Fi menggunakan protokol HTTP. Pada lapisan kedua, yaitu lapisan server, data diterima oleh aplikasi *backend* berbasis *Flask* (Python) yang berjalan di lingkungan server lokal atau *cloud*. Di sini, data sensor diproses dan dijadikan input untuk model *Random Forest* yang telah dilatih sebelumnya untuk mengklasifikasikan kondisi lingkungan sebagai “Aman” atau “Bahaya Kebakaran”. Hasil prediksi kemudian digunakan untuk mengaktifkan mekanisme notifikasi dan memperbarui

status sistem. Lapisan ketiga adalah antarmuka pengguna (*dashboard web*), yang menampilkan data sensor secara *real-time*, status deteksi kebakaran, serta riwayat kejadian dalam bentuk visualisasi interaktif. Notifikasi juga dikirimkan ke pengguna melalui layanan seperti Telegram apabila sistem mendeteksi kondisi bahaya. Dengan arsitektur ini, sistem mampu memberikan deteksi yang akurat, responsif, dan dapat diakses dari jarak jauh.

### Model Machine Learning

Model *Machine Learning* dalam penelitian ini menggunakan algoritma *Random Forest* yang dilatih untuk mengklasifikasikan kondisi lingkungan berdasarkan data multisensor. Input model terdiri atas empat fitur: suhu (°C) dan kelembaban (%) dari sensor DHT11, nilai analog sensor MQ-2 sebagai indikator konsentrasi gas/asap, serta status deteksi api dari *flame sensor*. Dataset dikumpulkan melalui simulasi berbagai skenario, termasuk kondisi normal, sumber panas *non-api*, uap air, dan api nyata, dengan total 3000 data yang kemudian dibagi menggunakan rasio 80:20, yaitu 2400 data sebagai data latih dan 600 data sebagai data uji. Model dilatih menggunakan library *scikit-learn* di lingkungan Python, lalu dievaluasi berdasarkan akurasi, presisi, dan *recall*. Setelah pelatihan, model disimpan dalam format *.pkl* dan diintegrasikan ke dalam aplikasi *Flask* untuk menjalankan inferensi *real-time* setiap kali data sensor diterima dari ESP32.

### Perancangan Sistem

Pengujian sistem dilakukan secara terintegrasi untuk memvalidasi keandalan deteksi dan responsivitas notifikasi. Skenario pengujian mencakup lima kondisi normal dan lima kondisi bahaya kebakaran, dengan metrik utama berupa akurasi prediksi model, laju *false positive*,

dan latensi sistem (waktu dari deteksi hingga munculnya peringatan di dashboard). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu membedakan kondisi bahaya dengan akurasi tinggi, mengurangi kesalahan deteksi terhadap uap atau panas *non-api*, serta memberikan notifikasi dalam waktu kurang dari 3 detik sejak data sensor dikirim. Pengujian ini membuktikan bahwa integrasi IoT dan *Machine Learning* berhasil meningkatkan kecerdasan dan keandalan sistem peringatan dini kebakaran.

## C. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Implementasi Sistem

Sistem peringatan dini kebakaran telah berhasil diimplementasikan dalam bentuk prototipe fungsional yang mengintegrasikan perangkat keras berbasis ESP32 dan sistem cerdas berbasis *Machine Learning*. Mikrokontroler ESP32 berhasil membaca data secara *real-time* dari tiga sensor: DHT11 (suhu dan kelembaban), MQ-2 (konsentrasi gas/asap), dan *flame* sensor (deteksi cahaya api). Data tersebut dikirim setiap 5 detik ke server melalui koneksi Wi-Fi menggunakan protokol HTTP.

Di sisi server, aplikasi *Flask* menerima data, memprosesnya, dan menjalankan inferensi menggunakan model *Random Forest* yang telah dilatih sebelumnya. Model tersebut mengklasifikasikan kondisi lingkungan menjadi dua kategori: “Aman” atau “Bahaya Kebakaran”. Hasil klasifikasi langsung ditampilkan pada *dashboard* web dalam bentuk indikator status dan memicu notifikasi otomatis melalui Telegram Bot jika terdeteksi kondisi bahaya. *Dashboard* juga menampilkan grafik *real-time* dari ketiga parameter sensor selama 24 jam terakhir, memungkinkan pemantauan jarak jauh yang intuitif dan responsif.

### Evaluasi Model

Evaluasi performa model dilakukan menggunakan pendekatan statistik berbasis *machine learning* dengan memanfaatkan dataset berjumlah 3000 data, yang dibagi menjadi 2400 data latih dan 600 data uji. Pendekatan ini digunakan untuk memperoleh hasil evaluasi yang lebih representatif secara statistik, sesuai dengan prinsip evaluasi model *machine learning*, dan tidak hanya bergantung pada pengujian fisik sesaat dengan jumlah sampel terbatas. Model *Random Forest* dievaluasi menggunakan *confusion matrix* untuk menilai kemampuan klasifikasi pada tiga kelas kondisi, yaitu Aman, Bahaya, dan Waspada.

Hasil *confusion matrix* menunjukkan bahwa seluruh data uji berhasil diklasifikasikan dengan benar, di mana sebanyak 217 data kelas *Aman*, 186 data kelas *Bahaya*, dan 197 data kelas *Waspada* terprediksi secara tepat tanpa kesalahan antar kelas. Temuan ini mengindikasikan bahwa model memiliki performa yang sangat baik pada data uji, dengan tingkat akurasi, presisi, dan *recall* yang tinggi, sehingga mencerminkan kemampuan model dalam mengenali pola data secara konsisten.

Performa tersebut didukung oleh karakteristik algoritma *Random Forest* yang mampu menangani hubungan *non-linear* antar fitur serta mengurangi pengaruh *noise* pada data sensor. Fitur input yang digunakan, yaitu suhu, kelembaban, nilai sensor gas MQ-2, dan status *flame* sensor, memberikan representasi kondisi lingkungan yang komprehensif. Dengan pendekatan ini, keputusan klasifikasi tidak hanya bergantung pada satu parameter, melainkan pada kombinasi beberapa indikator yang lebih kontekstual dalam mendeteksi potensi kebakaran. Evaluasi berbasis dataset ini melengkapi pengujian

sistem IoT secara fisik yang sebelumnya dilakukan untuk memastikan fungsi perangkat berjalan dengan baik. Jika pengujian fisik berfokus pada validasi operasional sistem secara *real-time*, maka evaluasi menggunakan *confusion matrix* memberikan dasar statistik yang lebih kuat untuk menilai performa dan kemampuan generalisasi model *machine learning*. Dengan demikian, integrasi IoT dan *Machine Learning* menggunakan algoritma *Random Forest* terbukti meningkatkan keandalan sistem deteksi kebakaran dibandingkan metode konvensional berbasis *threshold*.

Secara keseluruhan, implementasi ini membuktikan bahwa penggabungan IoT dan *Machine Learning* memberikan pendekatan yang lebih cerdas, adaptif, dan andal dalam mitigasi risiko kebakaran. Sistem ini memiliki potensi besar untuk diadopsi di lingkungan perumahan, kantor, atau laboratorium sebagai solusi preventif berbasis teknologi.

## D. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem peringatan dini kebakaran berbasis IoT dan *Machine Learning* berhasil dikembangkan dan berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian. Integrasi multisensor yang terdiri dari sensor suhu, kelembaban, gas/asap, dan deteksi api, dikombinasikan dengan algoritma *Random Forest*, yang mampu meningkatkan akurasi deteksi kebakaran secara signifikan dibandingkan sistem konvensional berbasis ambang batas. Sistem ini mampu membedakan kondisi bahaya kebakaran dengan kondisi lingkungan normal atau sumber panas *non-api*, sehingga mengurangi terjadinya alarm palsu. Selain itu, sistem menunjukkan responsivitas yang baik

dengan latensi notifikasi yang rendah, sehingga mendukung fungsi peringatan dini secara efektif. Dengan demikian, penerapan *Machine Learning* pada sistem IoT terbukti memberikan nilai tambah dalam meningkatkan keandalan dan kecerdasan sistem mitigasi kebakaran.

### Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut, sistem ini dapat ditingkatkan dengan menambahkan mekanisme deteksi dan inferensi secara lokal (*edge computing*) agar tetap dapat berfungsi ketika koneksi internet atau server tidak tersedia. Selain itu, penggunaan sensor dengan akurasi dan sensitivitas yang lebih tinggi serta penambahan parameter lingkungan lain, seperti sensor karbon monoksida (CO), dapat meningkatkan kualitas data dan performa model *Machine Learning*. Penelitian selanjutnya juga disarankan untuk melakukan pengujian dalam skala yang lebih besar dan kondisi lingkungan nyata yang lebih beragam, serta membandingkan performa beberapa algoritma *Machine Learning* lainnya guna memperoleh model yang paling optimal untuk deteksi kebakaran berbasis IoT.

## E. REFERENSI

- Akbar, N., Nuryadin, R., Rahman Yusuf, A., Reza, M., Fadlila Alifian, N. H., & Shagita Dyah, P. A. (2024). Prototype sistem deteksi kebakaran menggunakan sensor MQ-2 dan flame sensor berbasis IoT. *Jurnal Riset dan Aplikasi Mahasiswa Informatika (JRAMI)*, 5(01), 162–169.  
<https://doi.org/10.30998/jrami.v5i01.10443>
- Anggoro Saputro, U., & Tuslam, A. (2022). Sistem deteksi kebakaran berbasis internet of things dengan pesan peringatan menggunakan

- NodeMCU ESP8266 dan platform ThingSpeak. *Jurnal Infomedia: Teknik Informatika, Multimedia & Jaringan*, 7(1), 24–30.  
<https://doi.org/10.30811/jim.v7i1.2842>
- Aulia, I., & Munasir, M. (2022). Rancang bangun alat deteksi kebocoran gas LPG serta penanggulangan kebakaran menggunakan sensor MQ2 dan sensor api berbasis IoT. *Jurnal Fisika Unand*, 11(3), 306–312.  
<https://doi.org/10.25077/jfu.11.3.306-312.2022>
- Dzikhrullah, I., & Budiarmo, Z. (2023). Rangkaian rancang bangun alat pendeteksi kebakaran berdasarkan asap dan suhu pada dapur restoran berbasis Arduino dan internet of things. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 7(3), 395–404.  
<https://doi.org/10.35870/jti.v7i3.1415>
- Fahriyansyah, A., Hidayat, K., Ikhtiar, M., Ismail, R., Nugraha, N., & dkk. (2025). Sistem deteksi api pada warehouse berbasis internet of things dengan platform Blynk IoT. *Jurnal Salome: Multidisipliner Keilmuan*, 3(1), 29–51.  
<https://doi.org/10.59581/salome-widyakarya.v3i1.4883>
- Iqbal, M. (2025). Aplikasi simulasi IoT untuk smart sistem monitoring dan data logging real time sistem peringatan kebakaran. *Reputasi: Jurnal Rekayasa Perangkat Lunak*, 6(1), 45–52.  
<http://jurnal.bsi.ac.id/index.php/reputasi>
- Konasara, Z., Mustamin, S. B., Fajar, N., Hidayatullah, N., & Sahriani. (2025). Integrasi internet of things (IoT) dan machine learning (ML) untuk efisiensi, keberlanjutan, dan keamanan. *Jurnal Teknologi dan Sains Modern*, 2(2), 81–88.  
<https://doi.org/10.69930/jtms.v2i2.347>
- Kristianto, A., Chai, C. A., Chainatra, D., Onggie, K., & Alexander, W. J. (2023). Penerapan smart greenhouse untuk optimalisasi hasil pertanian hidroponik dengan implementasi IoT dan machine learning di Syifa Hidroponik. *Dedikasi: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(2), 225–233.  
<https://doi.org/10.47709/dst.v3i2.3010>
- Mulyadi, R., Putra, N., & Angelin, N. (2023). Sosialisasi mitigasi bencana kebakaran menggunakan alat deteksi kebakaran berbasis IOT pada mahasiswa institusi kesehatan dan teknologi Al Insyirah. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Teknik*, 6(1), 33–42.  
<https://doi.org/10.24853/jpmt.6.1.33-42>
- Napu, A., Kembuan, O., & Santa, K. (2022). Sistem peringatan dan penanganan dini kebakaran berbasis internet of things (IoT). *JOINTER: Journal of Informatics Engineering*, 3(01), 25–32.  
<https://doi.org/10.35793/jointer.v3i01.40552>
- Piu, S., Arifin, A., & Rizal, M. (2024). Optimasi penggunaan energi listrik bagi pelanggan rumah tangga berbasis machine learning dan

internet of things. MALCOM:  
Indonesian Journal of Machine  
Learning and Computer Science,  
5(1), 84–92.  
<https://doi.org/10.57152/malcom.v5i1.1694>

Salindeho, G. G., & Wellem, T. (2023).  
Perancangan dan implementasi  
sistem pendeteksi dan peringatan  
kebakaran berbasis IoT  
menggunakan NodeMCU ESP8266  
dan sensor api. Jurnal Penerapan  
Teknologi Informasi dan  
Komunikasi (JPTIK), 2(2), 179–  
191.

Satria, D. (2023). Sistem peringatan dini  
kebakaran dan kebocoran gas LPG  
berbasis notifikasi SMS gateway.  
Jurnal Informatika, 2(2), 9–13.  
<https://jurnal.uniraya.ac.id/index.php/JI/article/view/845>

Setyasmara, N. (2021). Internet of things  
(IoT) sistem peringatan dini bahaya  
kebakaran berbasis Android dan  
Arduino. JOMMIT: Jurnal Optimasi  
Teknik Elektro dan Informatika,  
5(2), 8–14.  
<https://doi.org/10.46961/jommit.v5i2.417>

Zulkifli, Z., Muhallim, M., &  
Hasnahwati, H. (2024).  
Pengembangan sistem alarm dan  
pemadam kebakaran otomatis  
menggunakan internet of things.  
Jurnal Informatika dan Teknik  
Elektro Terapan (JITET), 12(3),  
2415–2422.  
<https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3.4774>