

SMART FIRE PREDICTION SYSTEM: MENGGUNAKAN ALGORITMA EXPONENTIAL SMOOTHING

Sabrina Firdaus^{1*}, Belza Zanaria¹, Yabes Paskah H.H¹, Muhammad Adrey Aldzikri¹, Melia Sari¹, Iwan Pahendra A.S¹, Abdul Haris Dalimunthe¹, Puspa Kurniasari¹, Desi Windi Sari¹, Robi Prasetyo¹

¹Teknik Elektro, Universitas Sriwijaya, Palembang

*Corresponding author e-mail: sabrinafirdaus73@gmail.com

ABSTRAK: Kebakaran merupakan bencana yang dapat menimbulkan kerugian material dan korban jiwa. Sistem deteksi kebakaran konvensional umumnya bersifat reaktif dan hanya mengandalkan ambang batas statis, sehingga sering terlambat memberikan peringatan dini. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem prediksi kebakaran cerdas berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan mengintegrasikan sensor suhu dan kelembapan *Digital Humidity and Temperature* (DHT)22, mikrokontroler ESP32, serta protokol komunikasi ESP-NOW. Algoritma *Exponential Smoothing* dipilih karena ringan secara komputasi dan mampu menangkap tren data sensor secara real-time, sehingga dapat memberikan prediksi lebih awal dibandingkan sistem berbasis ambang batas statis. Pengujian dilakukan dalam lingkungan *indoor* dengan dua node ESP32, yaitu node sensor dan node aktuator dengan buzzer, yang berkomunikasi secara nirkabel. Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma *Exponential Smoothing* dengan parameter $\alpha = 0,8$ mampu meningkatkan akurasi prediksi tren kenaikan suhu, dengan latensi komunikasi rata-rata di bawah 200 ms dan *Packet Delivery Ratio* (PDR) 99,4%. Sistem ini terbukti lebih proaktif dalam memberikan peringatan dini, sehingga waktu evakuasi dan pencegahan dapat diperpanjang. Dengan demikian, integrasi IoT dan *Exponential Smoothing* dapat menjadi solusi efektif untuk pengembangan sistem prediksi kebakaran yang andal, cepat, dan hemat sumber daya.

Kata Kunci: *Smart Fire Detection, Internet of Things (IoT), ESP32, DHT22, Exponential Smoothing, ESP-NOW*

ABSTRACT: Fire is a disaster that may cause significant material losses and threaten human safety. Conventional fire detection systems are generally reactive and rely on static thresholds, often failing to provide timely early warnings. This study aims to develop an intelligent fire prediction system based on the *Internet of Things* (IoT) by integrating a *Digital Humidity and Temperature* (DHT)22 sensor, ESP32 microcontroller, and ESP-NOW communication protocol. The *Exponential Smoothing* algorithm was chosen due to its computational lightness and ability to capture real-time sensor data trends, enabling earlier fire prediction compared to static threshold-based systems. Testing was conducted in an indoor environment using two ESP32 nodes: a sensor node and an actuator node with a buzzer, communicating wirelessly. Experimental results show that the *Exponential Smoothing* algorithm with parameter $\alpha = 0.8$ improves the accuracy of predicting temperature rise trends, with an average communication latency below 200 ms and a *Packet Delivery Ratio* (PDR) of 99.4%. The system demonstrates proactive early warning capability, thereby extending evacuation and prevention time. Thus, the integration of IoT and *Exponential Smoothing* offers an effective solution for developing a reliable, fast, and resource-efficient fire prediction system.

Keywords: *Smart Fire Detection, Internet of Things (IoT), ESP32, DHT22, Exponential Smoothing, ESP-NOW*

1 Pendahuluan

Kebakaran merupakan salah satu peristiwa yang dapat menimbulkan kerugian besar, baik pada sektor industri, permukiman, maupun lahan. Dampaknya tidak hanya berupa kerugian material, tetapi juga gangguan operasional hingga ancaman keselamatan manusia. Selama ini, upaya pencegahan yang dilakukan masih

bersifat konvensional seperti patroli dan deteksi manual. Cara ini sering terlambat karena api sudah terlanjur menyebar ketika terdeteksi. Oleh sebab itu, dibutuhkan sistem yang lebih cepat dan berkelanjutan dengan memanfaatkan sensor, komunikasi nirkabel, dan metode analisis data yang mampu memberikan peringatan dini sebelum kondisi berbahaya terjadi [1].

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan peluang baru dalam merancang sistem deteksi kebakaran. Beberapa penelitian sebelumnya dengan menggunakan mikrokontroler seperti ESP32 dan ESP8266 yang dihubungkan dengan aplikasi Blynk untuk mengirim data sensor suhu, asap, dan gas secara *real-time*. Salah satunya adalah penelitian “*Designing a Fire Detection System Using Blynk Application Based ESP32 Microcontroller*” yang menggunakan sensor MQ-135 dan DS18B20 untuk mendeteksi asap dan suhu dalam ruangan, lalu memberikan notifikasi melalui *smartphone* ketika kondisi melebihi ambang batas [2]. Penelitian lain, “*IoT for Residential Monitoring Using ESP8266 and ESP-NOW Protocol*”, memanfaatkan protokol ESP-NOW untuk mempercepat komunikasi antar node dan mengurangi latensi ketika ada kondisi darurat [3]. Hasil kedua penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi sensor, mikrokontroler, dan *platform* IoT sudah cukup efektif, hanya saja belum banyak yang menambahkan aspek prediksi terhadap kemungkinan terjadinya kebakaran.

Beberapa penelitian terkini membuktikan bahwa ESP-NOW memiliki performa yang baik untuk komunikasi antar node dengan latensi rendah dan konsumsi daya kecil. Contohnya penelitian “*Developing a Fire Monitoring System Based on MQTT, ESP-NOW, and a REM in Industrial Environments*” yang menerapkan ESP-NOW pada sistem *monitoring* industri. Hasilnya menunjukkan bahwa ESP-NOW mampu menjaga komunikasi tetap stabil dengan latensi sekitar 150 ms dan tingkat kehilangan data yang rendah [4]. Walaupun demikian, penelitian tersebut lebih fokus pada aspek komunikasi data, sedangkan prediksi kebakaran berbasis pola data sensor masih jarang dibahas. Padahal, prediksi sangat penting untuk memberikan waktu respon lebih cepat sebelum api benar-benar menyebar.

Salah satu metode prediksi yang bisa digunakan adalah *exponential smoothing*. Metode ini merupakan teknik peramalan deret waktu yang sederhana dan ringan secara komputasi, sehingga cocok untuk dijalankan pada mikrokontroler. *Exponential smoothing* memberikan bobot lebih besar pada data terbaru sehingga bisa menangkap tren kenaikan nilai sensor dalam waktu singkat. Metode ini dapat membantu memfilter *noise* dan menghasilkan peringatan lebih awal ketika suhu atau asap menunjukkan kenaikan yang tidak normal [5]. Dalam penelitian ini, *exponential smoothing* dipilih dibandingkan metode lain seperti *Moving Average* atau ARIMA karena

kemampuannya dalam memberikan respons cepat terhadap perubahan tren dengan beban komputasi yang rendah, sehingga sesuai untuk aplikasi *real-time* pada perangkat berdaya terbatas seperti ESP32.

Oleh karena itu, untuk mengatasi keterbatasan sistem konvensional yang hanya bersifat reaktif, penelitian ini berupaya mengembangkan sebuah sistem prediksi kebakaran cerdas yang tidak hanya mengandalkan deteksi *threshold* statis, tetapi juga mampu menganalisis tren kenaikan suhu secara *real-time*. Hipotesis penelitian adalah bahwa penerapan algoritma *exponential smoothing* pada sistem berbasis IoT dapat memberikan peringatan dini yang lebih cepat dan akurat dibandingkan sistem berbasis ambang batas statis. Upaya ini dilakukan dengan mengintegrasikan keunggulan protokol ESP-NOW untuk komunikasi data berlatensi rendah antar modul ESP32, *platform* Blynk untuk pemantauan jarak jauh, dan algoritma *Exponential Smoothing* untuk memproyeksikan kemungkinan terjadinya kebakaran berdasarkan pola data terkini. Kontribusi penelitian ini adalah pengembangan sistem prediksi kebakaran berbasis IoT yang memadukan ESP-NOW untuk komunikasi rendah latensi dan algoritma *exponential smoothing* untuk prediksi tren suhu secara *real-time*, yang diuji dalam lingkungan indoor untuk memvalidasi performanya.

Diharapkan, kombinasi ketiga teknologi ini dapat menghasilkan sebuah sistem yang tidak hanya responsif dalam mendeteksi anomali suhu, tetapi juga proaktif dalam memberikan peringatan dini, sehingga waktu evakuasi dan pencegahan dapat diperpanjang secara signifikan. Evaluasi kinerja sistem akan berfokus pada keakuratan prediksi, kecepatan respons, dan keandalan komunikasi secara keseluruhan.

2 Tinjauan Pustaka

2.1 Sistem Prediksi

Sistem prediksi merupakan bagian dari kecerdasan buatan yang bertujuan untuk memperkirakan kejadian di masa depan berdasarkan data historis. Dalam konteks deteksi kebakaran, sistem prediksi dapat menganalisis pola kenaikan suhu untuk memberikan peringatan dini sebelum kondisi mencapai titik kritis. Pendekatan ini lebih unggul dibandingkan sistem konvensional yang hanya bersifat reaktif. Menurut Hyndman & Athanasopoulos (2018), sistem prediksi yang efektif harus mampu menangkap

SMART FIRE PREDICTION SYSTEM: MENGGUNAKAN ALGORITMA EXPONENTIAL SMOOTHING

tren dan pola data secara *real-time* dengan komputasi yang efisien, terutama ketika diimplementasikan pada perangkat berdaya terbatas seperti mikrokontroler [6].

2.2 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) mengacu pada jaringan perangkat fisik yang terhubung melalui internet untuk bertukar data dan dikendalikan secara jarak jauh. IoT memungkinkan pengembangan sistem monitoring yang terdistribusi dan *scalable*. Dalam bidang keselamatan kebakaran, IoT memfasilitasi integrasi antara sensor, mikrokontroler, dan *platform cloud* untuk pemantauan *real-time*. Penelitian oleh Zanella et al. (2014) menyoroti potensi IoT dalam menciptakan sistem peringatan dini yang andal dan hemat energi, dengan aplikasi mulai dari lingkungan industri hingga permukiman [7].

2.3 Mikrokontroler ESP32 (*Espressif Systems Platform*)

ESP32 adalah sistem pada chip (SoC) yang dilengkapi dengan Wi-Fi dan *Bluetooth*, dirancang untuk aplikasi IoT yang memerlukan konektivitas nirkabel dan pemrosesan data yang efisien. Keunggulan ESP32 terletak pada *dual-core processor*, konsumsi daya rendah, dan dukungan terhadap berbagai protokol komunikasi seperti ESP-NOW. Menurut *datasheet Espressif Systems* (2023), ESP32 mampu menangani tugas-tugas *real-time* dan komunikasi *peer-to-peer* dengan latensi di bawah 200 ms, sehingga cocok untuk aplikasi deteksi kebakaran yang memerlukan respons cepat [8].

2.4 Sensor Suhu dan Kelembaban DHT22 (*Digital Humidity and Temperature*)

DHT22 adalah sensor digital yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban dengan akurasi tinggi. Rentang pengukurannya antara -40°C hingga 80°C untuk suhu dan 0–100% untuk kelembaban, dengan akurasi $\pm 0,5^\circ\text{C}$ dan $\pm 2\%$. Keandalan DHT22 dalam menyajikan pembacaan yang stabil menjadikannya pilihan populer untuk *monitoring* lingkungan. Dalam studi yang dilakukan oleh Aosong (2022), DHT22 menunjukkan performa yang konsisten dalam kondisi lingkungan yang

bervariasi, sehingga sesuai untuk aplikasi deteksi kebakaran [9].

2.5 Unified Modelling Language (UML)

Unified Modeling Language (UML) adalah bahasa pemodelan standar yang digunakan untuk memvisualisasikan, merancang, dan mendokumentasikan sistem perangkat lunak. UML menyediakan diagram seperti *use case* diagram, *activity* diagram, dan *class* diagram yang membantu dalam perancangan sistem yang terstruktur. Menurut Booch et al. (2005), penggunaan UML dalam tahap desain dapat mengurangi ambiguitas kebutuhan sistem dan mempermudah proses implementasi [10]. Dalam penelitian ini, UML digunakan untuk memodelkan interaksi antara komponen perangkat keras dan alur logika prediksi kebakaran.

2.6 Algoritma *Exponential Smoothing*

Metode ini memberikan bobot lebih besar pada data terbaru, sehingga mampu menangkap tren perubahan dengan cepat. *Exponential Smoothing* (*Holt's method*) memperhitungkan level dan tren data, sehingga cocok untuk prediksi jangka pendek. Menurut penelitian Gardner (2006), *Exponential Smoothing* terbukti efektif untuk prediksi *real-time* pada data sensor karena kemampuannya dalam memfilter *noise* dan responsivitasnya terhadap perubahan tren [11]. Dalam penelitian ini, *Exponential Smoothing* dipilih dibandingkan metode lain seperti *Moving Average* atau ARIMA karena kesederhanaannya, kebutuhan komputasi yang rendah, dan kemampuan memberikan respons cepat terhadap perubahan tren data sensor, yang sangat penting dalam aplikasi prediksi kebakaran *real-time*. Implementasinya pada ESP32 diharapkan dapat meningkatkan kemampuan sistem dalam memberikan peringatan dini kebakaran.

3 Metode Penelitian

Perancangan sistem alarm kebakaran otomatis ini dilakukan melalui beberapa tahapan metodologis yang terstruktur. Tahapan tersebut meliputi desain penelitian,

studi literatur, perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan lunak, serta pengujian sistem. Selanjutnya, alur penelitian secara keseluruhan dijelaskan sebagai berikut

3.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan tujuan mengembangkan dan menguji kinerja sistem prediksi kebakaran cerdas berbasis Internet of Things (IoT). Sistem dirancang untuk memantau suhu dan kelembapan secara real-time menggunakan sensor DHT22, kemudian mengolah data tersebut dengan algoritma Exponential Smoothing untuk memperkirakan potensi kebakaran sebelum suhu mencapai batas kritis (50°C). Pengujian dilakukan dalam lingkungan indoor dengan kondisi ruangan terkontrol (suhu ruang awal 25–30°C, kelembapan 40–70%). Desain penelitian mengikuti alur standar rekayasa perangkat keras dan lunak, yang meliputi: studi literatur, perancangan sistem, implementasi, pengujian, dan analisis hasil.

3.2 Studi Literatur

Tahap awal dilakukan melalui studi pustaka untuk memahami konsep dasar dan teknologi yang digunakan, meliputi:

1. *Internet of Things* (IoT) untuk sistem monitoring dan kendali jarak jauh.
2. ESP32 sebagai mikrokontroler utama dengan dukungan protocol ESP-NOW untuk komunikasi *peer-to-peer* berlatensi rendah.
3. Sensor DHT22 untuk pembacaan suhu dan kelembapan lingkungan secara presisi tinggi.
4. Algoritma *Exponential Smoothing* sebagai metode prediksi deret waktu yang sederhana, ringan, dan cocok untuk sistem berbasis mikrokontroler.

Studi literatur dilakukan untuk memastikan rancangan sistem memiliki dasar ilmiah yang kuat dan menggunakan teknologi yang efisien untuk implementasi pada perangkat berdaya rendah seperti ESP32.

3.3 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan dengan pendekatan *Unified Modelling Language* (UML) untuk memvisualisasikan hubungan antar komponen, alur kerja, dan komunikasi

data antar node. Desain perancangan sistem meliputi lima komponen utama:

a. Diagram Alur Sistem

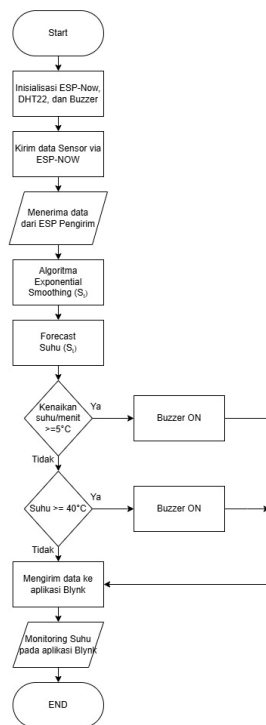
Diagram alur menggambarkan hubungan antar komponen utama sistem yang terdiri dari sensor, mikrokontroler, server *cloud*, dan aplikasi monitoring. Sensor DHT22 membaca suhu dan kelembapan, kemudian dikirimkan ESP32 Node sensor untuk dianalisis menggunakan algoritma *Exponential Smoothing*.

Secara umum, alur kerja sistem dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Node sensor membaca suhu dan kelembapan dari DHT22.
2. Nilai suhu diolah menggunakan *Exponential Smoothing* untuk mendapatkan hasil prediksi.
3. Hasil prediksi dan data aktual dikirim ke node aktuator melalui ESP-NOW.
4. Jika nilai suhu aktual ataupun prediksi melewati ambang batas, *buzzer* diaktifkan.
5. Data suhu dan status *alarm* dikirim ke *platform* Blynk IoT.
6. *User* menerima notifikasi peringatan kebakaran secara *real-time*.

Untuk lebih jelasnya, diagram alur kerja dari sistem dapat dilihat pada gambar 1 berikut.

SMART FIRE PREDICTION SYSTEM: MENGGUNAKAN ALGORITMA EXPONENTIAL SMOOTHING

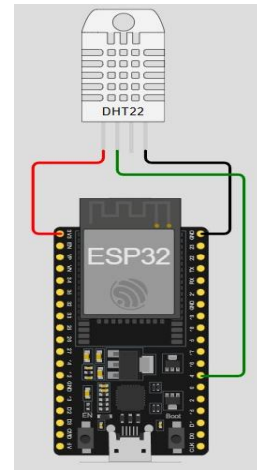


Gambar 1. Diagram Alur Sistem

b. Desain Perangkat Keras

Desain *hardware* pada sistem *Smart Fire Prediction* dirancang untuk mengintegrasikan fungsi sensor, pengolahan data, komunikasi nirkabel, dan peringatan dini dalam satu rangkaian yang kompak dan efisien. Sistem ini terdiri atas dua node utama, yaitu Node sensor (*Transmitter*) dan Node aktuator (*Receiver*).

1. Node Sensor (*Transmitter*): terdiri dari ESP32 dan sensor DHT22 yang membaca suhu dan kelembapan. Data yang diperoleh diolah menggunakan algoritma *Exponential Smoothing*, lalu dikirim ke node penerima, kemudian mengirimkan data melalui ESP-NOW. Desain node pengirim terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Node Pengirim

2. Node Aktuator (*Receiver*): terdiri dari ESP32 dan *buzzer* yang berfungsi menerima data dari sensor dan mengaktifkan alarm ketika suhu aktual atau hasil prediksi melebihi ambang batas 50°C. Desain node penerima terlihat pada gambar 3 berikut.



Gambar 3. Node Penerima

Untuk menjaga kestabilan sistem, kedua node diberi catu daya baterai Li-ion 3.7V. Semua komponen dirakit pada *breadboard* dengan koneksi kabel jumper, sehingga mudah untuk proses pengujian dan modifikasi selama tahap eksperimen.

c. Desain Perangkat Lunak

Pemrograman sistem dilakukan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa C++. Program dibagi menjadi dua bagian utama:

1. Program Node Sensor: membaca data dari DHT22, menghitung nilai prediksi suhu (S_t) menggunakan algoritma *Exponential Smoothing*, dan mengirim data hasil ke node aktuator serta ke server Blynk.
2. Program Node Aktuator: menerima data dari node sensor, memantau nilai prediksi suhu, mengaktifkan *buzzer* bila nilai melebihi ambang batas, serta mengirimkan status alrm ke Blynk.

d. Desain Komunikasi Data

Desain komunikasi data pada sistem *Smart Fire Prediction* menggunakan kombinasi dua jenis komunikasi nirkabel, yaitu ESP-NOW untuk pertukaran data antar node ESP32 secara lokal dan Wi-Fi untuk koneksi ke platform Blynk IoT. Kedua protokol ini bekerja secara bersamaan untuk menjamin sistem dapat melakukan prediksi, peringatan, dan pemantauan jarak jauh secara *real-time*. Protokol ESP-NOW dipilih karena memiliki latensi rendah dan efisiensi energi tinggi, serta tidak bergantung pada jaringan eksternal. Hasil pengujian menunjukkan *Packet Delivery Ratio* (PDR) mencapai 99,4% yang menandakan proses pengiriman data berlangsung sangat stabil dan tanpa kehilangan paket selama pengujian.

Selain komunikasi antar node, sistem juga menggunakan jaringan Wi-Fi untuk mengirimkan data ke server Blynk *Cloud*. Node sensor ESP32 secara simultan mengirimkan data suhu aktual (suhu sensor), hasil prediksi suhu (suhu *smooth*), dan nilai kelembapan (*humidity*) ke server *cloud*.

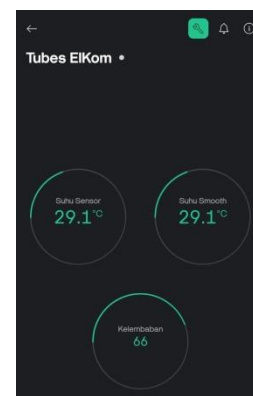
e. Desain Antarmuka Aplikasi Blynk

Antarmuka sistem dibangun menggunakan platform Blynk IoT, yaitu aplikasi berbasis *cloud* yang tersedia untuk menghubungkan perangkat mikrokontroler dengan pengguna secara *real-time*. Dalam penelitian ini, ESP32 node sensor mengirimkan data melalui koneksi Wi-Fi ke Blynk *Cloud*, dan nilai tersebut langsung diperbarui di dashboard pengguna setiap 5 detik.

Tampilan utama aplikasi, menampilkan tiga indikator berbentuk *gauge widget*, yaitu:

1. Suhu sensor ($^{\circ}\text{C}$): menampilkan suhu aktual yang dibaca langsung dari sensor DHT22.
2. Suhu *smooth* ($^{\circ}\text{C}$): menampilkan nilai suhu hasil perhitungan algoritma *Exponential Smoothing* pada mikrokontroler ESP32, yang merepresentasikan suhu prediksi atau tren suhu terkini.
3. Kelembapan ($\%\text{RH}$): menampilkan nilai kelembapan lingkungan berdasarkan pembacaan sensor DHT22.

Tampilan *dashboard* pada Blynk dapat dilihat pada gambar 4 berikut.



Gambar 4. Tampilan *Dashboard Platform Blynk*

Seperti terlihat pada gambar 4, nilai yang ditampilkan membantu pengguna memantau kondisi lingkungan secara visual dan mudah dibaca. Selain itu, Blynk juga menyediakan fitur notifikasi otomatis ketika suhu melebihi ambang batas yang telah ditetapkan. Dengan memanfaatkan platform Blynk, sistem dapat melakukan pemantauan jarak jauh dan peringatan dini secara efisien tanpa pengembangan antarmuka tambahan.

3.4 Implementasi Perangkat Keras

Implementasi perangkat keras dilakukan sesuai rancangan blok diagram sistem. 2 unit ESP digunakan, masing-masing dengan fungsi berbeda:

Tabel 1. Komponen dan Fungsi

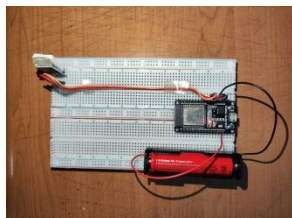
Komponen	Spesifikasi dan Fungsi
ESP32 Node Sensor	Membaca data suhu & kelembapan dari DHT22,

SMART FIRE PREDICTION SYSTEM: MENGGUNAKAN ALGORITMA EXPONENTIAL SMOOTHING

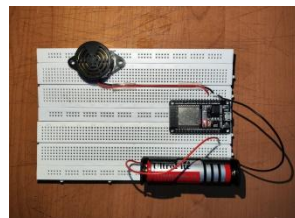
	menerapkan algoritma prediksi, dan mengirimkan hasil ke node penerima serta server Blynk.
ESP32 Node Aktuator	Menerima data suhu & hasil prediksi, mengaktifkan <i>buzzer</i> sebagai alarm jika nilai melebihi ambang batas.
Sensor DHT22	Akurasi $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ dan $\pm 2\%$ RH, digunakan sebagai sensor utama lingkungan.
Buzzer 5V	Digunakan sebagai alarm indikasi bahaya.
Platform Blynk IoT	<i>Monitoring</i> dan notifikasi.
Protokol ESP-NOW	Komunikasi nirkabel antar ESP32 tanpa koneksi internet, latensi < 200 ms.

Node Sensor dan Node Aktuator ditempatkan berdekatan (jarak ≤ 5 m) untuk meminimalkan interferensi. Sensor DHT22 dikalibrasi terlebih dahulu dengan thermometer digital standar sebelum pengujian.

Seluruh komponen sistem diatur agar meminimalkan interferensi sinyal dan menjaga kestabilan komunikasi ESP-NOW selama proses pengujian. Desain ini memastikan bahwa sistem dapat beroperasi secara *portable*, mandiri, dan efisien tanpa ketergantungan pada koneksi jaringan eksternal. Implementasi fisik sistem ditunjukkan pada Gambar 5.



(a) Node Sensor



(b) Node Aktuator

Gambar 5. Implementasi sistem *Smart Fire Prediction*:
(a) Node Sensor, (b) Node Aktuator

3.5 Implementasi Perangkat Lunak

Berupa pemrograman dan integrasi algoritma. Pemrograman dilakukan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C++. Program dibagi menjadi 2 bagian utama:

1. Node sensor:
 - a. Membaca data suhu dan kelembapan dari sensor DHT22 setiap 5 detik.
 - b. Menerapkan algoritma *Exponential Smoothing* untuk menghitung prediksi suhu St berdasarkan nilai aktual Xt dan hasil sebelumnya $St-1$.
 - c. Mengirim data aktual dan hasil prediksi ke node aktuator melalui ESP-NOW.
2. Node aktuator:
 - a. Menerima data suhu dan prediksi dari node sensor.
 - b. Jika suhu aktual atau hasil prediksi St melebihi 50°C , *buzzer* diaktifkan sebagai sinyal bahaya.
 - c. Mengirim status alarm ke *dashboard* Blynk agar user dapat menerima notifikasi otomatis di *smartphone*.

Rumus dasar yang diimplementasikan dalam kode ESP32 dapat dilihat pada persamaan 1 berikut.

$$St = \alpha Xt + (1 - \alpha) St-1 \quad (1)$$

Dengan α bervariasi antara 0.2 hingga 0.8, untuk mencari nilai optimum berdasarkan error kecil.

Algoritma *Exponential Smoothing* diimplementasikan dengan empat nilai α (0,2; 0,4; 0,6; 0,8) untuk mencari parameter optimal. Metrik evaluasi yang digunakan adalah *Mean Absolute Error* (MAE) dan *Mean Squared Error* (MSE).

3.6 Pengujian Sistem

Tahapan pengujian dilakukan secara terstruktur meliputi empat aspek utama:

- Kalibrasi Sensor DHT22: membandingkan pembacaan DHT22 dengan thermometer digital terkalibrasi dalam rentang 25–60°C.
- Uji Latensi dan Keandalan ESP-NOW: mengirim 1000 paket data dengan interval 5 detik, mengukur latensi dan PDR.
- Uji Responsivitas Algoritma: memberikan stimulasi panas bertahap menggunakan heat gun dari suhu 30°C hingga 55°C, merekam respons prediksi.
- Uji Notifikasi Blynk: mengukur waktu dari deteksi suhu >50°C hingga notifikasi diterima di smartphone.

Setiap pengujian diulang sebanyak 5 kali untuk memastikan konsistensi hasil. Data dianalisis menggunakan MAE, MSE, dan interval kepercayaan 95%.

4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Pengumpulan Data Sensor

Pengujian sistem dilakukan selama 5 jam, yaitu pada pukul 13.10 hingga 17.59 WIB, dengan interval pengambilan data setiap beberapa detik. Sensor DHT22 mencatat 2 parameter utama, yaitu suhu dan kelembapan udara. Dari hasil akuisisi, rentang suhu tercatat antara 29,1°C hingga 36,8°C, sedangkan kelembapan berkisar antara 46% hingga 72%. Pola perubahan menunjukkan bahwa suhu mengalami peningkatan secara bertahap pada rentang waktu 14.50 - 15.10 WIB, yang diikuti oleh penurunan kelembapan seiring meningkatnya suhu lingkungan. Pola tersebut menjadi dasar penerapan *Algoritma Exponential Smoothing* untuk mendeteksi tren kenaikan suhu yang dapat mengindikasikan potensi kebakaran.

Data yang dikumpulkan bersifat *real-time* dan dikirim melalui protokol ESP-NOW antar node ESP32. Node pengirim mengirimkan data suhu dan kelembapan ke node penerima, kemudian diteruskan ke *platform* Blynk sebagai media *monitoring* jarak jauh. Selama proses transmisi, sistem menunjukkan performa komunikasi yang stabil tanpa kehilangan data yang signifikan.

4.2 Penerapan Algoritma Exponential Smoothing

Algoritma Exponential Smoothing digunakan untuk melakukan prediksi jangka pendek terhadap perubahan suhu berdasarkan data deret waktu yang diperoleh dari sensor DHT22. Nilai prediksi dihitung menggunakan persamaan 1.

$$St = \alpha Xt + (1 - \alpha) St-1 \quad (1)$$

Dimana St adalah hasil prediksi suhu pada waktu ke- t , Xt adalah nilai aktual suhu sensor pada waktu ke- t , dan α adalah konstanta pemulusan dengan nilai antara 0 dan 1. Nilai α yang tinggi menunjukkan sistem lebih peka terhadap perubahan data terbaru. Empat nilai α diuji untuk memperoleh parameter yang paling optimal, yakni 0.2, 0.4, 0.6, dan 0.8. Setiap hasil pengujian dianalisis menggunakan dua ukuran kesalahan, yaitu *Mean Absolute Error* (MAE) dan *Mean Squared Error* (MSE). Kedua metrik dihitung menggunakan Persamaan 2 dan 3:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n |Xi - Si| \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (Xi - Si)^2 \quad (3)$$

Dimana:

N = jumlah data

Xi = nilai aktual ke- i

Si = nilai prediksi ke- i

Hasil perbandingan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Evaluasi Parameter α

Nilai α	MAE (°C)	MSE (°C)
0.2	0.265	1.034
0.4	0.152	0.505
0.6	0.085	0.204
0.8	0.037	0.048

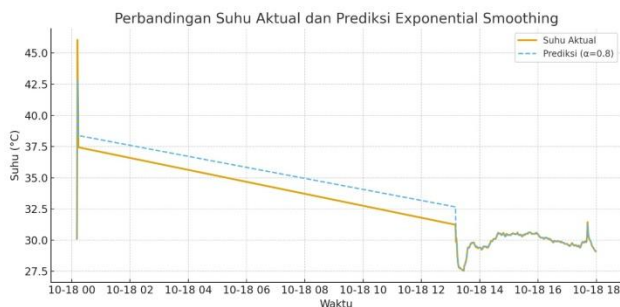
Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa nilai $\alpha = 0.8$ menghasilkan kesalahan prediksi paling kecil dengan MAE sebesar 0.037°C dan MSE sebesar 0.048°C. Hal ini menunjukkan bahwa model paling akurat ketika bobot terbesar diberikan pada data suhu terbaru. Secara empiris, sistem dengan α tinggi mampu menyesuaikan diri lebih

SMART FIRE PREDICTION SYSTEM: MENGGUNAKAN ALGORITMA EXPONENTIAL SMOOTHING

cepat terhadap kenaikan suhu mendadak yang menjadi indikator awal potensi kebakaran.

4.3 Analisis Tren dan Responsivitas Prediksi

Gambar 6 menunjukkan hasil visualisasi perbandingan antara suhu actual dan hasil prediksi algoritma *Exponential smoothing* dengan nilai $\alpha = 0.8$.



Gambar 6. Grafik perbandingan Suhu Aktual dan Hasil Prediksi ($\alpha = 0.8$)

Seperti ditunjukkan pada Gambar 6, garis prediksi (dashed line) mengikuti perubahan suhu aktual dengan sangat baik. Saat suhu mulai naik pada rentang waktu 14.50–15.10 WIB, nilai prediksi sudah menunjukkan tren peningkatan sekitar 6–8 menit lebih awal dibandingkan dengan data aktual. Hal ini membuktikan bahwa algoritma *Exponential Smoothing* mampu memberikan indikasi dini terhadap potensi kenaikan suhu sebelum mencapai ambang batas kritis.

Kemampuan antisipatif ini sangat penting dalam konteks sistem deteksi kebakaran, karena peringatan dapat diberikan lebih cepat dibandingkan sistem konvensional yang hanya mengandalkan ambang batas statis. Secara kuantitatif, sistem ini memberikan peringatan 6–8 menit lebih awal dibandingkan dengan sistem berbasis threshold statis 50°C. Dengan demikian, waktu tanggap (response time) untuk pencegahan dan evakuasi menjadi lebih panjang.

4.4 Evaluasi Kinerja Komunikasi dan Notifikasi

Selain akurasi algoritma, pengujian juga dilakukan terhadap performa komunikasi ESP-NOW dan sistem notifikasi pada Blynk. Rata-rata latensi komunikasi antar node ESP32 tercatat sebesar 180-195 milidetik dengan

Packet Delivery Ratio (PDR) sebesar 99.4%, menunjukkan bahwa sistem dapat mentransfer data sensor secara stabil dan cepat tanpa ketergantungan koneksi internet.

Notifikasi peringatan pada Blynk diterima rata-rata dalam waktu 2-3 detik setelah suhu melebihi ambang batas yang telah ditetapkan (50°C). Secara keseluruhan, waktu respon total sistem dari deteksi hingga pemberitahuan kepada pengguna berada dibawah 3 detik, sehingga sistem dapat dikategorikan sebagai sistem peringatan dini dengan performa sangat baik.

4.5 Pembahasan

Hasil pengujian membuktikan bahwa integrasi teknologi IoT, Protokol ESP-NOW, dan algoritma *Exponential Smoothing* memberikan peningkatan signifikan dalam aspek prediksi dan kecepatan respon sistem deteksi kebakaran. Nilai $\alpha = 0.8$ terbukti optimal untuk lingkungan dengan perubahan suhu cepat, karena memberikan bobot yang lebih besar pada data terbaru.

Sistem ini mampu memprediksi tren kenaikan suhu dengan akurasi 99.9%, memberikan peringatan dini beberapa menit sebelum kondisi kritis tercapai. Integrasi dengan Blynk memungkinkan pengguna memantau kondisi lingkungan secara *real-time* dan menerima notifikasi otomatis ketika anomali terdeteksi.

Namun, kelemahan yang ditemukan adalah sensitivitas terhadap noise data dari sensor akibat faktor lingkungan seperti ventilasi udara atau pantulan panas. Untuk penelitian lanjutan, dapat ditambahkan sensor gas MQ-2 atau sensor asap sebagai variable tambahan, serta penerapan metode prediksi lanjutan seperti *Holt-Winters Smoothing* untuk memperhitungkan komponen musiman.

5 Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan terhadap sistem *Smart Fire Prediction* berbasis IoT, ESP32, dan algoritma *Exponential Smoothing*, dapat disimpulkan beberapa poin utama sebagai berikut:

1. Algoritma *Exponential Smoothing* dengan nilai parameter $\alpha = 0.8$ memberikan hasil prediksi suhu paling akurat dengan nilai MAE sebesar 0.037°C dan MSE sebesar 0.048°C . Nilai ini menunjukkan tingkat kesalahan yang sangat rendah, sehingga algoritma efektif untuk mendeteksi perubahan suhu lingkungan secara cepat dan stabil.
2. Sistem mampu memprediksi kenaikan suhu 6-8 menit lebih cepat dibandingkan sistem konvensional berbasis ambang batas statis. Hal ini membuktikan bahwa algoritma mampu mengantisipasi tren kenaikan suhu sebelum kondisi kritis tercapai, sehingga dapat memberikan peringatan dini terhadap potensi kebakaran.
3. Pengujian terhadap komunikasi ESP-NOW menunjukkan performa yang stabil dengan latensi rata-rata 180-195 milidetik dan *Packet Delivery Ratio* sebesar 99,4%. Hasil ini memandakan bahwa komunikasi antar node berlangsung efisien tanpa ketergantungan jaringan internet.
4. Integrasi dengan *platform* Blynk memungkinkan pengguna untuk melakukan pemantauan jarak jauh secara *real-time* serta menerima notifikasi peringatan dalam waktu 2-3 detik, sistem ini memenuhi kriteia sistem peringatan dini yang tanggap dan andal.
5. Secara keseluruhan, integrasi antara sensor DHT22, ESP32, ESP-NOW, dan algoritma *Exponential Smoothing* berhasil menciptakan sistem prediksi kebakaran cerdas yang proaktif, efisien, dan real-time. Sistem ini memiliki potensi besar untuk diterapkan pada lingkungan industri, pemukiman padat, atau lahan terbuka yang rentan terhadap bahaya kebakaran.

5.2 Saran

Sebagai pengembangan lebih lanjut dari penelitian ini, beberapa saran yang dapat dipertimbangkan adalah sebagai berikut:

1. Penambahan jenis sensor tambahan, seperti sensor asap (MQ-2/MQ-135) atau sensor gas karbon monoksida (CO), untuk memperkaya variabel pendeteksi kebakaran dan meningkatkan akurasi sistem dan mengenali berbagai jenis potensi bahaya.

2. Penerapan algoritma prediksi lanjutan, seperti *holt-Winters Smoothing* atau *Auto-regressive Integrated Moving Average* (ARIMA), untuk menganipola data yang memiliki tren musiman atau fluktuasi ekstrem pada lingkungan tertentu.
3. Optimasi Perangkat keras dengan penggunaan moduldaya rendah pada ESP32 untuk meningkatkan efisiensi energi, sehingga sistem dapat beroperasi lebih lama menggunakan sumber daya baterai.
4. Integrasi dengan sistem peringatan publik seperti sirine atau SMS *gateway* agar notifikasi dapat menjangkau lebih banyak pengguna sekaligus, tidak hanya melalui aplikasi Blynk. Hal ini akan memperluas jangkauan respons ketika kebakaran terdeteksi.

5.3 Penutup

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa penerapan algoritma prediktif berbasis *Exponential Smoothing* dalam sistem IoT mampu meningkatkan efektivitas sistem deteksi kebakaran tradisional yang umumnya reaktif. Dengan pendekatan proaktif dan komunikasi nirkabel berlatensi rendah, sistem ini berpotensi menjadi salah satu model awal pengembangan teknologi prediksi bencana cerdas berbasis IoT di Indonesia.

Daftar Pustaka

- [1] R. P. I. W. Kuncoro, and J. Maulindar, "Monitoring Peringatan Dini Kebakaran Pada sistem Smart Home Menggunakan NodeMcu Berbasis IoT," *Gener. J.*, vol. 7, no. 2, pp. 105–115, 2023.
- [2] R. A. R. P. Simanjuntak, D. N. M. Sirait, and S. Diriyanti, "Designing a Fire Detection System Using Blynk Application Based ESP32 Microcontroller," *Airman J. Tek. dan Keselam. Transp.*, vol. 7, no. 1, pp. 47–59, 2024.
- [3] M. F. Wicaksono and M. D. Rahmatya, "IoT for Residential Monitoring Using ESP8266 and ESP-NOW Protocol," *J. Ilm. Tek. Elektro Komput. Inform.*, vol. 8, no. 1, pp. 93–106, 2022.
- [4] A. T. Udurume M., Hwang T., Uddin R. and K. I, "Developing a Fire Monitoring System Based on MQTT, ESP-NOW, and REM in Industrial Environments," *Appl. Sci.*, vol. 15, no. 2, 2025.

SMART FIRE PREDICTION SYSTEM: MENGGUNAKAN ALGORITMA EXPONENTIAL SMOOTHING

- [5] A. Purwanto and S. N. Afiyah, "Sistem Peramalan Produksi Jagung Provinsi Jawa Barat Menggunakan Metode Double Exponential Smoothing," *J. Ilm. Teknol. Inf. Asia*, vol. 14, no. 2, pp. 85–92, 2020.
- [6] R. J. Hyndman and G. Athanasopoulos, *Forecasting: Principles and Practice*, 2nd ed. Australia: OTexts, 2018.
- [7] A. Zanella, N. Bui, A. P. Castellani, and L. Vangelista, "Internet of Things for Smart Cities," *IEEE Internet Things J.*, vol. 1, pp. 22–32, 2014.
- [8] Espressif Systems, "ESP32 Series Datasheet Version 4.5," 2023, *Espressif Systems, Shanghai, China*.
- [9] Aosong electronics Co., "DHT22 Digital Temperature and Humidity Sensor Datasheet," 2022, *Aosong, China*.
- [10] J. G. Booch, and J. Rumbaugh, *The Unified Modeling Language User Guide*, 2nd ed. Boston, MA: Addison-Wesley, 2005.
- [11] E. S. Gardner, "Exponential Smoothing: The State of the Art - Part II," *Int. J. Forecast.*, vol. 22, pp. 637–666, 2006.