



## Pengembangan Sistem Pemantauan Kebakaran Real-Time dan Peringatan Dini Menggunakan Teknologi LoRa pada Kawasan Perkotaan

Abdul Rahman<sup>1\*</sup>, Eka Puji Widiyanto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Elektro, Universitas Multi Data Palembang

\*Corresponding Author's e-mail: arahman@mdp.ac.id

### Article History:

Received: December 5, 2025

Revised: December 20, 2025

Accepted: December 30, 2025

### Keywords:

Fire, IoT, LoRa, Fire Sensor, Smoke Sensor, real-time monitoring

**Abstract:** Fires in urban areas require reliable monitoring and early warning systems to reduce potential losses. This study aims to evaluate the performance of components that build an urban fire monitoring and early warning system, consisting of the DHT22 temperature and humidity sensor, MQ-2 smoke sensor, 5-channel IR flame detector, and LoRa E220-900T22D communication module as the main components of the IoT-based system. The testing methods include measuring the accuracy of temperature and humidity using the DHT22, smoke detection tests with MQ-2, fire detection distance tests with the IR flame detector, and communication range tests of LoRa in urban environments. The results show that the DHT22 provides high accuracy with an average of 98.67% for humidity and 97.82% for temperature. The MQ-2 consistently detects varying smoke concentrations, while the IR flame detector perfectly detects fire at a distance of 90 cm on all channels and only on certain channels at 300 cm. The LoRa module demonstrates an effective range of 1–2 km with relatively high reliability, though performance decreases beyond 3 km due to physical obstacles and signal interference. Overall, the system can be effectively implemented for urban fire monitoring and early warning, although additional strategies such as denser gateway placement or mesh architecture are required to improve communication stability.

Copyright © 2025, The Author(s).

This is an open access article under the CC-BY-SA license



**How to cite:** Rahman, A., & Widiyanto, E. P. (2025). Pengembangan Sistem Pemantauan Kebakaran Real-Time dan Peringatan Dini Menggunakan Teknologi LoRa pada Kawasan Perkotaan. *SENTRI: Jurnal Riset Ilmiah*, 4(12), 4446–4464. <https://doi.org/10.55681/sentri.v4i12.5196>

## PENDAHULUAN

Statistik insiden kebakaran di kawasan perkotaan Indonesia menunjukkan kecenderungan yang semakin mengkhawatirkan, khususnya dalam konteks fenomena El Niño yang tengah berlangsung. Fenomena iklim ini berkontribusi terhadap peningkatan suhu udara dan penurunan curah hujan, sehingga secara signifikan meningkatkan kerentanan wilayah terhadap kejadian kebakaran. Data titik panas (hotspot) nasional memperlihatkan lonjakan yang substansial. Sepanjang periode Januari hingga September 2023, tercatat 3.788 titik panas, meningkat lebih dari empat kali lipat dibandingkan 979 titik panas pada periode yang sama tahun 2022. Peningkatan ini sebagian besar terpusat di provinsi-provinsi dengan riwayat kebakaran hutan dan lahan yang tinggi, seperti Sumatera Selatan dan Kalimantan [1].

Pada konteks perkotaan, permasalahan kebakaran juga menampilkan urgensi yang serupa. Di Jakarta Pusat, Suku Dinas Penanggulangan Kebakaran dan Penyelamatan (Gulkarmat) melaporkan 204 kasus kebakaran sepanjang Januari hingga Desember 2021. Dampak dari insiden tersebut sangat signifikan, menyebabkan 1.695 jiwa mengungsi,

kerugian material sebesar Rp 39,87 miliar, serta luas area terdampak mencapai 617.693 meter persegi[2]. Situasi serupa juga ditemukan di Kota Yogyakarta, di mana pada tahun 2023 terjadi 90 kasus kebakaran, menunjukkan peningkatan 60% dibandingkan dengan 56 kasus pada tahun 2022[3]. Temuan-temuan ini menegaskan perlunya penguatan kebijakan mitigasi kebakaran berbasis data, peningkatan kapasitas respon cepat di wilayah perkotaan, serta penerapan teknologi pemantauan dini yang andal. Upaya-upaya tersebut penting untuk meminimalkan dampak sosial, ekonomi, dan lingkungan yang ditimbulkan oleh kebakaran, sekaligus mendukung ketahanan kota terhadap risiko bencana di masa depan.

Kebakaran merupakan salah satu bentuk bencana yang berpotensi menimbulkan dampak signifikan, baik berupa kerugian material maupun korban jiwa. Risiko kebakaran di kawasan perkotaan cenderung lebih tinggi akibat tingginya kepadatan penduduk, rapatnya struktur bangunan, serta intensitas aktivitas manusia. Kondisi ini menuntut adanya sistem pemantauan dan peringatan dini yang mampu mendeteksi kebakaran secara cepat, akurat, dan berkesinambungan. Sejumlah penelitian terdahulu telah menyoroti pemanfaatan teknologi dalam mendukung deteksi kebakaran. Misalnya, penerapan komunikasi Long Range (LoRa) digunakan untuk transmisi data sensor dalam mengidentifikasi titik api pada sistem deteksi kebakaran hutan [4][5]. Selain itu, implementasi Internet of Things (IoT) telah dikembangkan untuk mendeteksi keberadaan api dan menyampaikan notifikasi ke perangkat bergerak berbasis Android sebagai peringatan dini [6]. Lebih lanjut, integrasi IoT dengan teknologi LoRa juga diterapkan pada sistem deteksi kebakaran hutan secara real-time guna meningkatkan kecepatan dan efisiensi transmisi data [7]. Secara umum, penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kombinasi IoT dan LoRa memiliki potensi besar dalam mengembangkan sistem deteksi dan monitoring kebakaran, khususnya pada konteks lingkungan hutan.

Teknologi Long Range (LoRa) menghadirkan pendekatan inovatif dalam pengembangan sistem pemantauan kebakaran. Beberapa keunggulan utama yang dimiliki LoRa menjadikannya kompetitif dibandingkan teknologi nirkabel lainnya. Pertama, LoRa mampu menjangkau area komunikasi yang lebih luas, sehingga efektif digunakan pada wilayah dengan cakupan besar [4][8][5]. Kedua, konsumsi energi yang rendah memungkinkan sensor berbasis LoRa beroperasi dalam jangka waktu bertahun-tahun tanpa memerlukan penggantian baterai [14]. Ketiga, LoRa tetap dapat berfungsi secara andal pada lingkungan perkotaan dengan kepadatan sinyal tinggi serta mendukung integrasi dengan infrastruktur kota cerdas (smart city) [9]. Selain itu, pendekatan berbasis Machine Learning juga telah diterapkan untuk mendeteksi potensi kebakaran melalui analisis dataset citra api [10].

Kebakaran di wilayah perkotaan yang padat dan kompleks memerlukan sistem pemantauan yang andal, responsif, serta terintegrasi dengan infrastruktur kota cerdas. Sistem konvensional sering menghadapi berbagai kendala, seperti keterlambatan respons (latency), tingginya tingkat false alarm, keterbatasan cakupan jaringan, fragmentasi koordinasi, serta kerentanan terhadap interferensi lingkungan perkotaan. Menjawab tantangan tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem monitoring kebakaran berbasis Internet of Things (IoT) dengan teknologi Long Range (LoRa) yang diintegrasikan dalam arsitektur tiga lapis (edge fog cloud). Sistem ini dirancang untuk menggabungkan pemrosesan data secara cepat di lapisan edge gateway dengan analisis prediktif melalui infrastruktur fog computing kota, didukung modul sensor multi-kriteria adaptif serta

mekanisme dynamic sleep scheduling untuk efisiensi energi jangka panjang. Strategi implementasi melibatkan pemodelan propagasi sinyal LoRa, perancangan jaringan mesh dengan konfigurasi grid heksagonal, serta validasi melalui pengujian performa jaringan dan integrasi dengan ekosistem smart city. Dengan pendekatan ini, penelitian menawarkan solusi monitoring kebakaran yang bersifat skalabel, hemat energi, dan mampu mendukung koordinasi evakuasi secara real-time dalam konteks kota cerdas.

Berbagai pendekatan inovatif telah dikembangkan dalam upaya meningkatkan efektivitas sistem deteksi kebakaran, khususnya di lingkungan rumah tangga dan kawasan perkotaan yang memiliki kepadatan penduduk tinggi dan risiko kebakaran yang signifikan. Pendekatan berbasis perangkat keras umumnya mengintegrasikan sensor asap, suhu, dan api yang dikendalikan oleh mikrokontroler untuk mendeteksi keberadaan potensi kebakaran sejak dini. Sistem ini tidak hanya mendeteksi kejadian kebakaran secara lokal, tetapi juga mengirimkan peringatan secara real-time melalui aplikasi pesan instan seperti WhatsApp kepada pihak-pihak yang telah terdaftar, sehingga memungkinkan respons cepat dari penghuni maupun pihak berwenang [11][12].

Selain itu, perkembangan teknologi juga mendorong implementasi sistem deteksi kebakaran berbasis kendaraan udara nirawak (Unmanned Aerial Vehicle, UAV). UAV yang dilengkapi dengan sensor multispektral dan kamera termal dapat digunakan untuk memantau area perkotaan, mendeteksi titik panas, dan mendukung proses pemadaman kebakaran, terutama di lokasi yang sulit dijangkau oleh petugas secara langsung [13]. Tidak hanya mengandalkan perangkat keras, penelitian terkini juga menyoroti penggunaan pendekatan berbasis pemodelan spasial. Salah satunya adalah pemanfaatan model distribusi spesies (species distribution model) yang menganalisis hubungan antara karakteristik fisik lingkungan—seperti tutupan vegetasi, kelembapan udara, dan pola penggunaan lahan—dengan kejadian kebakaran, sehingga dapat memprediksi wilayah yang memiliki tingkat risiko kebakaran tinggi di kawasan perkotaan [14].

Sebagai pelengkap, pendekatan berbasis data visual juga semakin mendapatkan perhatian. Sebuah penelitian mengumpulkan 2.600 citra yang merepresentasikan kejadian kebakaran skala kecil atau awal mula kebakaran untuk membangun dataset yang dapat dimanfaatkan dalam pengembangan sistem deteksi berbasis visi komputer. Dataset ini memungkinkan penerapan algoritma pembelajaran mesin, khususnya deep learning, untuk mendeteksi indikasi kebakaran secara otomatis dari data citra, sehingga memperkuat akurasi sistem peringatan dini [15]. Pendekatan-pendekatan tersebut menunjukkan bahwa integrasi antara sensor, teknologi komunikasi, UAV, pemodelan spasial, dan analisis citra berbasis kecerdasan buatan (AI) dapat secara signifikan meningkatkan kemampuan deteksi kebakaran dan mempercepat pengambilan keputusan dalam mitigasi risiko kebakaran di kawasan perkotaan.

Penelitian terdahulu [4][5][16][17][18] menegaskan bahwa teknologi LoRa memiliki potensi besar untuk sistem deteksi dan pemantauan kebakaran berkat jangkauan sinyal yang luas serta konsumsi daya yang rendah. Kemampuan jangkauan sinyal dari LoRa sudah dilakukan penelitian untuk deteksi kebakaran hutan. Karakter kepadatan hutan dan kawasan perkotaan sangat mempengaruhi jangkauan sinyal LoRa, dimana pada kawasan perkotaan menghadapi tantangan serius akibat gangguan sinyal dari bangunan dan kendaraan [19]. Untuk menjawab hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk sistem monitoring dan peringatan dini kebakaran berbasis komunikasi LoRa untuk mengetahui jangkauan sinyal LoRa pada kawasan perkotaan. Implementasi

dari penelitian ini dapat memberikan dukungan untuk integrasi dengan infrastruktur smart city, termasuk sistem peringatan dini, transportasi, dan peta denah bangunan untuk memperlancar evakuasi terpadu. Penelitian ini juga dapat memberikan kontribusi dalam mengintegrasikan LoRa dengan teknologi AI dan IoT untuk meningkatkan skalabilitas, akurasi deteksi, dan kecepatan respons. Penelitian ini selanjutnya dapat menghasilkan arsitektur LoRa yang disesuaikan secara khusus dengan kondisi perkotaan yang kompleks, integrasi dengan infrastruktur kota cerdas untuk mendukung manajemen risiko kebakaran, serta pendekatan yang lebih efisien dan berkelanjutan dibandingkan metode konvensional.

## **LANDASAN TEORI**

### **1. Teknologi LoRa**

LoRa (Long Range) merupakan teknologi komunikasi nirkabel yang dirancang untuk transmisi jarak jauh dengan konsumsi daya sangat rendah. Teknologi ini bekerja menggunakan modulasi *Chirp Spread Spectrum*, sehingga tetap stabil pada kondisi interferensi tinggi maupun lingkungan urban.

LoRa sangat efektif untuk sistem pemantauan kebakaran karena mampu mentransmisikan data sensor dari lokasi terpencil ke gateway dengan jarak beberapa kilometer[20]. Penelitian [4] menunjukkan bahwa LoRa memiliki daya jangkauan stabil, bahkan ketika node dipasang di area dengan kondisi topografi sulit. Keunggulan LoRa pada sistem kebakaran mencakup:

- a) Jangkauan luas: 2–10 km tergantung kondisi lingkungan
- b) Daya rendah: cocok untuk node pemantauan berbasis baterai
- c) Biaya infrastruktur rendah
- d) Stabil pada kondisi Non-Line-of-Sight (NLOS)

### **2. Sistem Deteksi Kebakaran**

Deteksi kebakaran modern menggunakan kombinasi sensor asap, suhu, gas, dan flame untuk meningkatkan keakuratan sistem dan mengurangi kemungkinan false alarm. Sistem multi-sensor dapat mendeteksi perubahan lingkungan secara lebih cepat dan sensitif dibandingkan sistem satu sensor.

Integrasi beberapa jenis sensor dalam satu node IoT mampu memberikan data yang lebih kaya dan memungkinkan identifikasi titik api secara lebih dini[21]. Sementara penelitian [22] menunjukkan bahwa penggunaan gabungan sensor flame dan suhu mempercepat waktu respons pada sistem peringatan dini. Dalam konteks kawasan perkotaan, penggunaan sensor multi-parameter juga membantu mengatasi gangguan lingkungan seperti polusi atau perubahan suhu harian yang dapat memengaruhi akurasi sistem.

### **3. Internet of Things (IoT)**

Internet of Things (IoT) adalah paradigma teknologi yang memungkinkan perangkat fisik saling terhubung untuk mengumpulkan, mengirim, dan menganalisis data secara otomatis melalui konektivitas jaringan. Dalam sistem pemantauan kebakaran, IoT berfungsi sebagai fondasi yang mengintegrasikan sensor suhu, asap, gas, dan api untuk pemantauan kondisi lingkungan secara real-time.

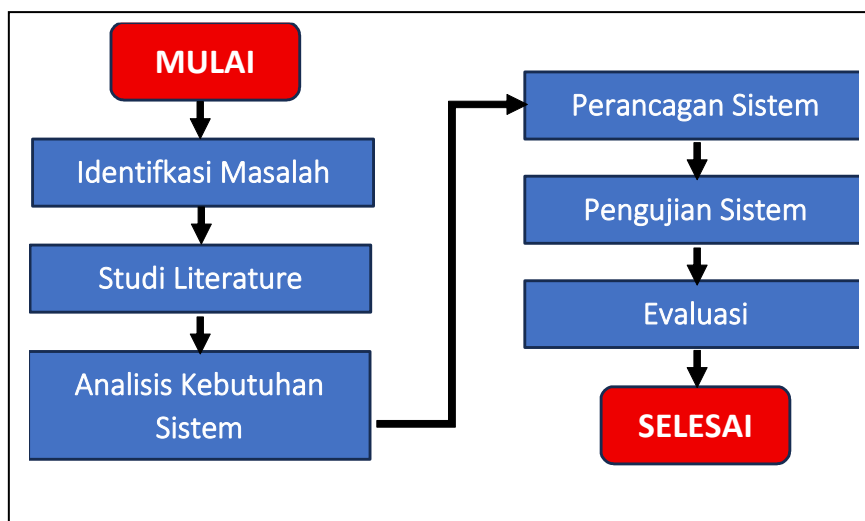
IoT memungkinkan integrasi sensor multi-parameter ke dalam node pemantauan yang dapat dipasang di berbagai titik rawan kebakaran[20]. IoT memberikan kelebihan

berupa real-time monitoring, remote access, dan kemampuan pengiriman data berkelanjutan melalui komunikasi nirkabel berdaya rendah. IoT sangat efektif dalam sistem deteksi kebakaran karena mampu menyediakan pembacaan sensor secara berkesinambungan dan pemrosesan data secara terdistribusi[4].

Kerangka konseptual operasional penelitian ini menempatkan teknologi Internet of Things (IoT) sebagai fondasi integrasi sistem pemantauan kebakaran real-time di kawasan perkotaan, di mana sensor multi-parameter yang terdiri dari sensor suhu dan kelembapan, sensor asap/gas, serta sensor api berfungsi sebagai sumber data utama untuk mendeteksi perubahan lingkungan yang mengindikasikan potensi kebakaran. Data sensor diakuisisi dan diproses secara lokal oleh node IoT berbasis mikrokontroler, kemudian ditransmisikan menggunakan teknologi LoRa yang berdaya rendah dan jangkauan luas menuju gateway, sehingga memungkinkan komunikasi yang stabil pada kondisi lingkungan urban dan Non-Line-of-Sight. Selanjutnya, gateway meneruskan data ke server atau Virtual Private Server (VPS) untuk penyimpanan, analisis, dan visualisasi melalui aplikasi web, sekaligus menghasilkan notifikasi peringatan dini apabila nilai parameter melampaui ambang batas kebakaran. Kerangka ini secara operasional mengarahkan desain sistem mulai dari pemilihan sensor, arsitektur node dan gateway, hingga platform monitoring, serta menurunkan indikator evaluasi kinerja yang mencakup akurasi sensor, kecepatan deteksi, tingkat false alarm, jangkauan dan kualitas komunikasi LoRa, latensi pengiriman data, serta keandalan sistem secara keseluruhan dalam mendukung pemantauan kebakaran yang otomatis, efisien, dan responsif.

## METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini dirancang untuk mengembangkan dan mengevaluasi sistem pemantauan kebakaran real-time serta peringatan dini berbasis teknologi LoRa yang diimplementasikan pada kawasan perkotaan. Pendekatan penelitian menggunakan metode eksperimen dengan tahapan penelitian seperti tersaji pada Gambar 1.



**Gambar 1. Diagram Alir Metode Penelitian**



## **1. Identifikasi Masalah**

Kebakaran di kawasan perkotaan masih menjadi ancaman serius yang berdampak pada keselamatan jiwa, kerugian material, serta gangguan aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat. Permasalahan utama yang dihadapi adalah keterlambatan deteksi dan respons. Sistem deteksi kebakaran yang ada saat ini umumnya masih bersifat konvensional dengan cakupan terbatas, seperti alarm berbasis sensor asap dan panas di dalam gedung. Sistem ini tidak terhubung secara real-time dengan pihak berwenang, sehingga informasi kebakaran sering terlambat diterima dan penanganan menjadi kurang optimal. Selain itu, keterbatasan jaringan komunikasi seperti Wi-Fi dan seluler menambah tantangan, karena kedua teknologi tersebut memiliki keterbatasan jangkauan, biaya operasional tinggi, serta rentan terhadap gangguan saat terjadi lonjakan trafik di area.

Di sisi lain, pengembangan kota cerdas (smart city) di Indonesia belum sepenuhnya mengintegrasikan sistem pemantauan kebakaran dengan infrastruktur kota, seperti transportasi, peta digital bangunan, dan sistem manajemen bencana. Padahal integrasi ini sangat penting untuk mendukung koordinasi evakuasi terpadu serta peringatan dini berbasis data spasial.

Teknologi LoRa (Long Range) menawarkan solusi potensial dengan jangkauan komunikasi hingga 10 km di area terbuka, konsumsi energi rendah (dapat bertahan hingga beberapa tahun menggunakan baterai), serta kemampuan konektivitas masif yang sesuai untuk Internet of Things (IoT). Namun, penerapan LoRa di lingkungan perkotaan menghadapi hambatan berupa interferensi sinyal akibat gedung tinggi, kendaraan, dan infrastruktur padat lainnya, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai efektivitasnya dalam sistem pemantauan kebakaran real-time.

## **2. Studi Literature**

Pada tahap ini dilakukan analisis referensi ilmiah, jurnal, dan penelitian sebelumnya tentang teknologi LoRa, sistem monitoring kebakaran, serta studi kasus implementasi di lingkungan perkotaan. Ini berguna untuk memahami teknologi yang paling sesuai dan efisien.

## **3. Analisis Kebutuhan Sistem**

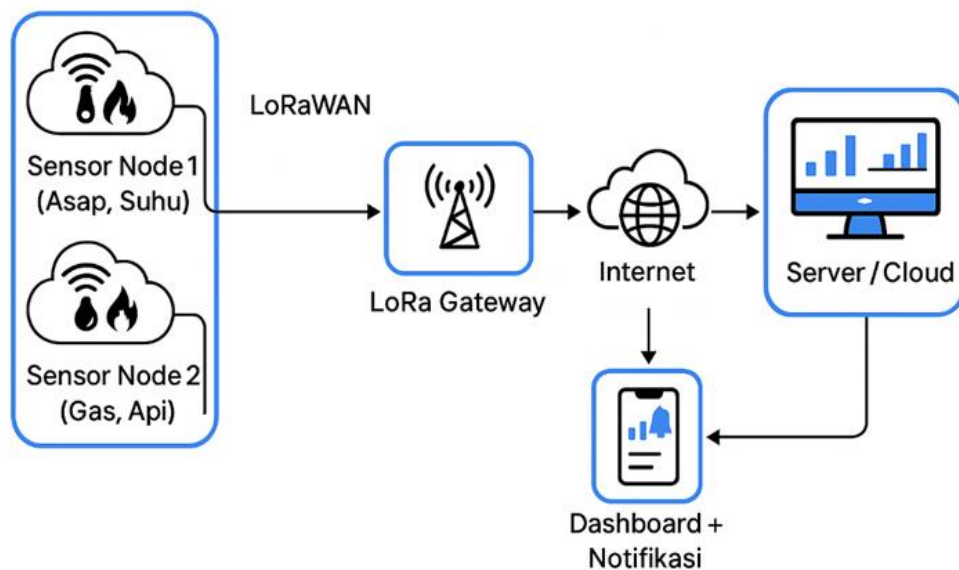
Hasil identifikasi masalah dan studi literatur digunakan untuk melakukan analisis kebutuhan sistem meliputi topologi jaringan LoRa dan kebutuhan node gateway untuk deteksi kebakaran di perkotaan, sensor-sensor yang diperlukan, lokasi untuk pemasangan node sensor dan LoRa gateway serta dashboard antarmuka dari sistem yang dibangun.

## **4. Perancangan Sistem**

Pada tahap ini dilakukan perancangan arsitektur sistem monitoring kebakaran berbasis LoRa, termasuk:

- Pemilihan sensor (asap, suhu, gas, api)
- Desain komunikasi antara sensor-node, gateway, dan server
- Perancangan tampilan antarmuka dashboard dan aplikasi peringatan dini

Rancangan arsitektur sistem monitoring dan peringatan dini kebakaran di kawasan perkotaan tersaji pada Gambar 2.



**Gambar 2. Arsitektur Sistem Monitoring dan Peringatan Dini Kebakaran**

Pada Gambar 2 memberikan gambaran arsitektur lengkap dari sistem deteksi kebakaran modern yang bersifat real-time, terdesentralisasi, dan hemat energi, ideal untuk diterapkan di area perkotaan.

**a. Sensor Node (End Devices)**

Terdapat beberapa node sensor yang terdiri dari: Sensor Asap, Sensor Suhu, Sensor Gas, Sensor Api (flame sensor). Masing-masing node ini dilengkapi dengan mikrokontroler dan modul komunikasi LoRa. Node ini ditempatkan di titik-titik strategis rawan kebakaran, seperti pasar, kawasan padat, atau pemukiman.

**b. Komunikasi LoRa (LoRaWAN)**

Node sensor berfungsi sebagai perangkat pengumpul data yang secara kontinu memantau parameter lingkungan, seperti suhu, kelembaban, intensitas cahaya, atau keberadaan asap. Data hasil pengukuran tersebut kemudian dikirimkan secara nirkabel melalui jaringan LoRa menuju gateway terdekat untuk selanjutnya diteruskan ke server atau platform cloud guna dianalisis. Teknologi LoRa dipilih karena memiliki konsumsi energi yang sangat rendah, memungkinkan node sensor beroperasi dalam jangka waktu panjang dengan hanya menggunakan baterai berkapasitas terbatas. Selain itu, LoRa memiliki jangkauan transmisi yang luas, bahkan mencapai beberapa kilometer, sehingga tetap andal digunakan di lingkungan perkotaan yang padat bangunan dan rawan interferensi sinyal. Karakteristik ini menjadikan LoRa efektif untuk implementasi sistem pemantauan skala besar yang menuntut keandalan transmisi data dengan biaya infrastruktur yang relatif rendah. Penelitian terdahulu mendukung efektivitas LoRa dalam konteks pemantauan kebakaran dan lingkungan. Penelitian [7] menunjukkan bahwa LoRa dapat digunakan dalam sistem *Forest Fire Detection* dengan jangkauan sinyal hingga 5 km di area terbuka dengan konsumsi daya hanya 0,1 watt, sehingga cocok untuk area terpencil.

**c. LoRa Gateway**

LoRa gateway berperan penting sebagai jembatan komunikasi antara jaringan lokal LoRa dan jaringan internet global. Gateway menerima paket data dari sejumlah besar node sensor yang tersebar di lapangan, kemudian melakukan proses decoding dan penggabungan (data aggregation) sebelum diteruskan ke server pusat atau platform cloud untuk dianalisis lebih lanjut. Proses ini menjadikan gateway sebagai titik penghubung utama (network bridge) yang memastikan data dari node dapat diakses secara real-time oleh sistem pemantauan.

Untuk koneksi ke internet, LoRa Gateway umumnya mendukung berbagai antarmuka komunikasi, seperti Wi-Fi, Ethernet kabel, maupun jaringan seluler (3G/4G/5G), sehingga fleksibel digunakan di berbagai lingkungan perkotaan maupun pedesaan. Dengan arsitektur ini, sistem pemantauan dapat mengintegrasikan ribuan node sensor dalam satu jaringan LoRa, sementara gateway bertugas meneruskan data tersebut ke aplikasi berbasis web atau IoT platform. Selain itu, gateway juga dapat dilengkapi dengan fungsi tambahan seperti edge computing, yang memungkinkan sebagian analisis data dilakukan secara lokal sebelum dikirimkan ke server, sehingga mengurangi latensi dan beban lalu lintas jaringan.

**d. Server / Cloud Processing**

Pada cloud atau server pusat, data yang dikirimkan dari node sensor diproses melalui tahapan pembersihan, normalisasi, dan analisis. Sistem menerapkan algoritma berbasis ambang batas (threshold) dengan parameter suhu, gas, dan asap untuk mendeteksi potensi kebakaran. Jika nilai sensor melewati ambang batas yang ditentukan, sistem memicu peringatan dini (early warning) kepada pengguna atau otoritas terkait [23][24]. Untuk meningkatkan akurasi, pendekatan ini sering diperkaya dengan metode pembelajaran mesin yang mampu mengurangi alarm palsu dan memberikan deteksi yang lebih adaptif [25].

Selain itu, server mengelola log data historis dan menyediakan visualisasi real-time melalui dashboard berbasis web atau aplikasi mobile, sehingga memudahkan pemantauan kondisi lingkungan secara langsung. Modul decision support system (DSS) juga dapat diintegrasikan untuk membantu pengambilan keputusan cepat, seperti notifikasi darurat, evakuasi, dan koordinasi petugas. Dengan dukungan infrastruktur cloud, sistem dapat diskalakan, mendukung integrasi kecerdasan buatan, serta berperan penting dalam ekosistem smart city untuk manajemen kebakaran perkotaan [26][27].

**e. Dashboard dan Notifikasi**

Data hasil monitoring ditampilkan dalam bentuk dashboard (peta lokasi, status sensor, histori data). Jika terdeteksi potensi kebakaran, sistem otomatis mengirimkan notifikasi peringatan melalui:

- Aplikasi mobile
- Sistem sirene lokal (opsional)

**5. Pengujian Sistem**

Pengujian sistem dalam penelitian ini dirancang melalui dua skenario utama untuk memperoleh gambaran yang komprehensif mengenai performa keseluruhan alat. Skenario pertama difokuskan pada pengujian fungsi sensor-sensor yang terintegrasi di dalam node, meliputi sensor suhu dan kelembaban, sensor deteksi api, serta sensor asap.



Pada tahap ini, setiap sensor diuji secara individual untuk memastikan bahwa nilai yang dihasilkan sesuai dengan kondisi lingkungan nyata. Hasil pengukuran sensor dibandingkan dengan instrumen pembanding standar guna memverifikasi akurasi, sensitivitas, serta kecepatan respons. Pengujian ini penting untuk mengetahui sejauh mana sensor mampu mendeteksi parameter-parameter kebakaran secara tepat sehingga dapat memberikan data yang valid kepada sistem.

Pengujian fungsi sensor suhu dan kelembapan dilaksanakan dengan cara membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur pembanding berupa thermohygrometer. Dari hasil perbandingan tersebut, tingkat kesalahan (error) serta akurasi sensor kemudian dihitung menggunakan persamaan (1) dan (2) [28]:

$$Error = \frac{Hasil\ pengukuran - Nilai\ Acuan}{Nilai\ Acuan} \times 100\% \quad (1)$$

$$Nilai\ Akurasi = 100\% - Error \quad (2)$$

Skenario kedua diarahkan pada evaluasi kinerja komunikasi nirkabel dengan menggunakan dua modul LoRa (E220-900T22D) yang terpasang pada node sensor dan gateway. Pengujian dilakukan dengan mengukur beberapa parameter teknis, antara lain jangkauan transmisi, latensi pengiriman data, tingkat keberhasilan pengiriman paket (Packet Delivery Ratio/PDR), serta kestabilan sinyal pada berbagai kondisi lingkungan, baik pada area dengan hambatan (Non Line of Sight) maupun tanpa hambatan (Line of Sight). Skenario ini bertujuan untuk memastikan bahwa komunikasi antarperangkat berlangsung andal dan efisien, sehingga data yang dikirimkan dari node sensor dapat diterima gateway dan selanjutnya diteruskan ke server secara real-time.

Dengan membagi pengujian ke dalam dua skenario tersebut, penelitian ini tidak hanya memvalidasi performa masing-masing sensor secara individu, tetapi juga menilai kemampuan sistem dalam menjaga kualitas komunikasi data antarperangkat. Hasil dari kedua skenario ini akan menjadi dasar dalam menilai efektivitas sistem secara keseluruhan dalam mendukung pemantauan kebakaran real-time dan peringatan dini di kawasan perkotaan.

## 6. Evaluasi

Pada tahap ini, data hasil pengujian yang diperoleh dari berbagai skenario eksperimen dianalisis secara sistematis untuk menilai efektivitas dan kinerja sistem. Analisis mencakup evaluasi akurasi sensor dalam mendeteksi parameter kebakaran, kualitas transmisi data melalui jaringan LoRa (misalnya *packet delivery ratio*, latensi, dan kekuatan sinyal), serta kecepatan dan keandalan sistem dalam memberikan peringatan dini. Data yang terkumpul kemudian dibandingkan dengan standar performa yang telah ditentukan atau benchmark dari penelitian terdahulu, sehingga dapat diketahui sejauh mana sistem memenuhi kebutuhan operasional nyata.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

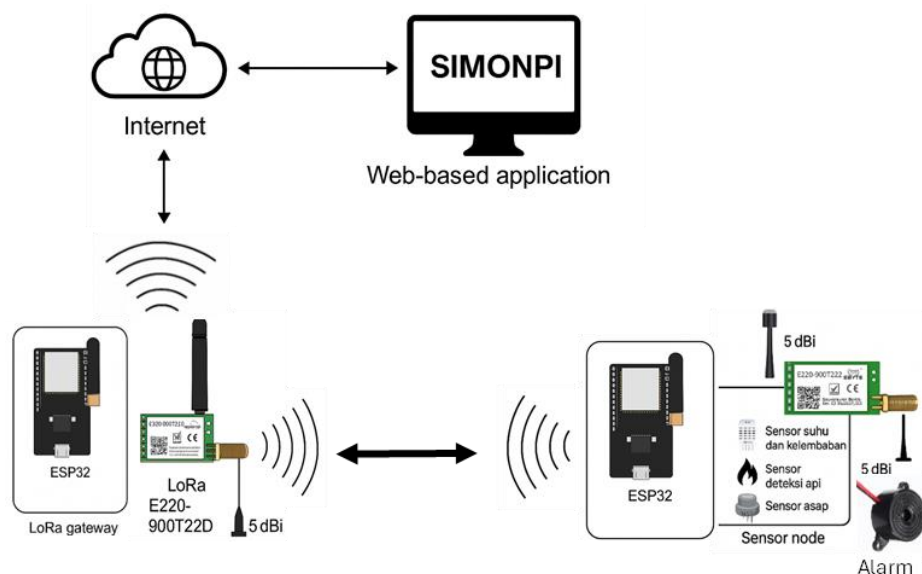
Sistem Pemantauan Kebakaran Real-Time dan Peringatan Dini Menggunakan Teknologi LoRa pada Kawasan Perkotaan dikembangkan untuk melakukan pemantauan terjadinya kebakaran pada rumah yang berlokasi di kawasan perkotaan. Sistem yang dibangun terdiri dari bagian, yaitu bagian LoRa gateway yang digunakan untuk menerima data-data dari node -node sensor yang ditempatkan di rumah untuk kemudian

data-data ini dikirimkan ke Virtual Private Server (VPS). Pada bagian LoRa gateway ini terdiri dari komponen mikrokontroller ESP32, modul LoRa EByte E220-900T22D, Antenna 5 dBi, dan modem GSM untuk terkoneksi ke jaringan internet. Pada VPS ini dibangun aplikasi berbasis web yang dinamakan SIMONPI. Pada bagian kedua sebagai node yang terdiri dari beberapa sensor, yaitu Sensor suhu dan kelembaban (DHT22), sensor deteksi api (IR Flame detektor), dan sensor asap (MQ-2). Sensor-sensor ini dikendalikan oleh mikrokontroller ESP32, dan untuk komunikasi dengan LoRa gateway dengan modul LoRa EByte E220-900T22D menggunakan Antenna 5 dBi.

Sistem monitoring peringatan dini kebakaran berbasis Internet of Things (IoT) dengan komunikasi LoRa dirancang untuk menjawab kebutuhan pemantauan kebakaran yang lebih cepat, andal, dan terintegrasi di kawasan perkotaan. Tujuan utama dari sistem ini adalah untuk mendeteksi potensi kebakaran secara dini pada sebuah lokasi melalui serangkaian sensor yang ditempatkan di titik-titik strategis, kemudian mengirimkan informasi tersebut secara real-time ke pusat pemantauan.

Dalam operasionalnya, ketika sensor mendeteksi adanya tanda-tanda kebakaran seperti peningkatan suhu yang signifikan, keberadaan asap, atau munculnya api, data tersebut segera dikirimkan melalui jaringan komunikasi LoRa menuju LoRa gateway. Selanjutnya, gateway meneruskan data ke server Virtual Private Server (VPS) menggunakan jaringan internet. Pada VPS inilah dibangun aplikasi pemantauan berbasis web yang dinamakan SIMONPI (Sistem Monitoring Kebakaran Pintar). Aplikasi ini bertugas mengolah, menyimpan, dan menampilkan data sensor dalam bentuk antarmuka visual yang mudah dipahami.

Selain menampilkan data pemantauan secara real-time, sistem juga dilengkapi dengan mekanisme peringatan dini. Jika terdeteksi adanya kondisi yang mengindikasikan kebakaran, sistem secara otomatis mengaktifkan alarm buzzer pada lokasi sensor untuk memberikan tanda bahaya langsung kepada penghuni atau masyarakat sekitar. Pada saat yang sama, sistem juga dapat mengirimkan notifikasi ke perangkat pengguna melalui jaringan internet agar pihak terkait dapat segera mengambil langkah mitigasi.



**Gambar 3.** Rancangan Sistem Monitoring dan Peringatan Dini Kebakaran

Dengan kombinasi sensor, komunikasi nirkabel LoRa yang hemat energi, serta aplikasi web SIMONPI, sistem ini tidak hanya mampu memberikan informasi deteksi kebakaran secara cepat dan akurat, tetapi juga menghadirkan solusi terpadu yang mendukung konsep smart city. Kehadiran sistem ini diharapkan dapat meminimalkan keterlambatan dalam merespons insiden kebakaran, mengurangi risiko korban jiwa, serta menekan kerugian material di kawasan perkotaan yang padat penduduk dan rawan kebakaran.

### 3.1 Hasil Pengujian Sensor DHT22

Sensor DHT22 digunakan untuk mengukur kelembaban dan suhu udara. Sensor DHT22 diintegrasikan dengan mikrokontroler ESP32 dan datanya ditransmisikan melalui LoRa gateway untuk kemudian datanya ditampilkan di aplikasi SIMONPI. Pada pengujian ini kita menguji tiga sensor DHT22 yang terpasang pada tiga Node modul LoRa. Pengujian dilakukan dengan mengukur kelembaban dan suhu udara di sekitar modul LoRa, sementara hasilnya akan dibandingkan dengan alat ukur yang telah terkalibrasi, yaitu hygrometer. Hasil pengujian sensor DHT22 untuk pengukuran kelembaban udara disajikan pada Tabel 1, dan untuk hasil pengujian suhu udara disajikan pada Tabel 2.

Pengujian sensor DHT22 dilakukan sepuluh kali percobaan untuk mengukur kelembaban dan suhu udara yang nilainya dibandingkan dengan alat ukur yang telah terkalibrasi yaitu hygrometer. Ketiga modul Node LoRa yang telah dilengkapi dengan sensor DHT22 terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 di uji tingkat akurasi pembacaan sensornya. Pada Tabel 1 tersaji hasil pengujian untuk tingkat kelembaban, hasilnya menunjukkan bahwa untuk Modul node Lora 1 (Modul-1) didapatkan tingkat akurasi sensor DHT22 98,5%, sedangkan untuk Modul-2 didapatkan hasil tingkat akurasinya sebesar 98,76, dan untuk Modul-3 diperoleh tingkat akurasi pengukuran kelembaban adalah sebesar 98,41%. Akurasi hasil pengujian ini didapatkan dengan menggunakan persamaan (1) dan persamaan (2).

**Tabel 1.** Hasil Pengujian Kelembapan Sensor DHT22

Percobaan	Hygrometer	Modul-1	Modul-2	Modul-3	Error	Error	Error
	Kelembapan (%)	Kelembapan (%)	Kelembapan (%)	Kelembapan (%)	Modul-1 (%)	Modul-2 (%)	Modul-3 (%)
1	62,3	63,1	62,8	61,2	1,74	0,80	1,77
2	62,5	62,7	63,4	61,3	1,11	1,44	1,92
3	61,8	62,5	61,2	62,2	1,12	0,97	0,65
4	62,2	62,4	61,6	62,4	0,80	0,96	0,32
5	62,5	61,8	63,3	61,3	1,13	1,28	1,92
6	62,1	61,5	62,9	61,2	1,11	1,29	1,45
7	62,2	61,8	61,4	60,8	1,43	1,29	2,25
8	61,6	62,1	61,2	60,3	1,60	0,65	2,11
9	61,8	62,6	62,7	60,2	0,64	1,46	2,59
10	62,8	63,3	64,2	62,2	0,79	2,23	0,96
Rata-rata Error					1,15	1,24	1,59
Akurasi					98,85	98,76	98,41

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Suhu Sensor DHT22

Percobaan	Hygrometer	Modul-1	Modul-2	Modul-3	Error	Error	Error
	Suhu °C	Suhu °C	Suhu °C	Suhu °C	Modul-1 (%)	Modul-2 (%)	Modul-3 (%)
1	28,5	29,6	28,8	29,1	3,72	1,05	2,11
2	29,2	30,6	30,1	30,3	4,58	3,08	3,77
3	28,8	30,4	29,5	29,2	5,26	2,43	1,39
4	30,4	31,5	31,4	30,8	3,49	3,29	1,32
5	29,8	30,3	30,5	30,2	1,65	2,35	1,34
6	29,5	29,8	29,8	30,6	1,01	1,02	3,73
7	30,8	31,2	30,4	31,4	1,28	1,30	1,95
8	30,1	30,4	30,8	30,5	0,99	2,33	1,33
9	31,2	31,8	31,5	31,7	1,89	0,96	1,60
10	29,7	30,2	30,2	30,2	1,66	1,68	1,68
Rata-rata					2,55	1,95	2,02
Akurasi					97,45	98,05	97,98

Pada Tabel 2 tersaji hasil pengujian untuk suhu ruang yang dibaca oleh sensor, hasilnya menunjukkan bahwa untuk Modul node Lora 1 (Modul-1) didapatkan tingkat akurasi sensor DHT22 untuk pembacaan suhu udara adalah sebesar 97,45%, sedangkan untuk Modul-2 didapatkan hasil tingkat akurasi sebesar 98,05, dan untuk Modul-3 diperoleh tingkat akurasi pengukuran kelembapan adalah sebesar 97,98%. Akurasi hasil pengujian ini didapatkan dengan menggunakan persamaan (1) dan persamaan (2).

### 3.2 Hasil Pengujian Sensor Asap MQ-2

Pada pengujian sensor asap MQ-2 dilakukan dengan menggunakan asap rokok elektrik untuk menghasilkan asap. Skenario pengujian dilakukan dengan memberikan asap rokok ke arah sensor asap MQ-2. Hasil pengujian sensor deteksi asap MQ-2 tersaji pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Sensor Deteksi Asap MQ-2

Percobaan	Tegangan keluaran sensor (Volt)	Tingkat Kepekatan Asap
1	0,56	Udara Bersih Tidak Ada Asap
2	1,45	Asap dengan kadar rendah
3	2,25	Asap dengan kadar sedang
4	3,35	Asap dengan kadar tinggi (pekat)
5	4,25	Asap dengan kadar sangat tinggi (sangat pekat)

Berdasarkan hasil pada Tabel 3, Pada kondisi udara bersih, sensor MQ-2 menunjukkan tegangan keluaran relatif rendah, yaitu sekitar 0,56 V, yang merepresentasikan kondisi normal tanpa adanya asap. Saat konsentrasi asap rokok meningkat, tegangan keluaran sensor juga meningkat secara bertahap. Ketika sensor terpapar asap dengan konsentrasi rendah, tegangan naik menjadi sekitar 1,45 V. Hal ini menunjukkan bahwa sensor cukup peka terhadap keberadaan partikel asap meskipun jumlahnya masih sedikit. Pada konsentrasi sedang, tegangan keluaran meningkat lebih signifikan, mencapai sekitar 2,25 V, yang menandakan respon sensor semakin kuat terhadap peningkatan kadar asap di udara.

Pada konsentrasi yang lebih tinggi, tegangan keluaran mencapai 3,35 V hingga 4,25 V. Pola ini menegaskan bahwa sensor MQ-2 memiliki sensitivitas yang baik dalam mendeteksi asap, di mana semakin pekat asap yang terdeteksi, semakin tinggi pula

tegangan keluarannya. Namun, terlihat bahwa pada tegangan keluaran mencapai 4 V, kenaikan tidak lagi sebesar pada rentang konsentrasi rendah. Hal ini mencerminkan sifat non-linear sensor MQ-2, di mana respon tegangan keluaran tidak selalu sebanding dengan peningkatan jumlah asap pada konsentrasi tinggi.

Secara keseluruhan, tren peningkatan tegangan keluaran menunjukkan bahwa MQ-2 dapat digunakan dengan baik sebagai sensor deteksi asap rokok. Pada tegangan rendah (sekitar 0,5–1,45 V), kondisi udara masih relatif aman, sedangkan pada tegangan di atas 3 V, sensor sudah mendeteksi adanya konsentrasi asap yang cukup tinggi sehingga dapat dijadikan dasar untuk pemicu alarm peringatan dini.

### 3.2 Hasil Pengujian Sensor Api

Sensor api IR Flame Detector 5 channel merupakan modul pendeteksi api berbasis inframerah (IR) yang mampu mengenali pancaran cahaya dari nyala api dengan panjang gelombang tertentu (biasanya 760 nm – 1100 nm). Keunggulan sensor ini adalah memiliki 5 kanal deteksi dengan sudut pandang berbeda (umumnya 60° per kanal) sehingga dapat mengamati api dari berbagai arah tanpa perlu memutar sensor. Modul ini sering digunakan pada sistem peringatan dini kebakaran, robot pemadam api, dan sistem keamanan karena responsnya cepat terhadap adanya nyala api.

Pengujian sensor api IR Flame Detector 5 channel dilakukan untuk mengetahui jarak maksimum dan sudut efektif deteksi api dari setiap kanal sensor. Tahap awal dimulai dengan mempersiapkan peralatan, yaitu modul sensor flame 5 channel, mikrokontroler (misalnya Arduino atau ESP32), sumber api berupa lilin atau korek api, serta alat ukur jarak seperti meteran atau penggaris. Sensor dipasang pada kedudukan yang stabil agar tidak bergeser selama pengujian, sementara sumber api diletakkan pada posisi lurus di depan sensor.

Setelah itu dilakukan kalibrasi awal dengan mendekatkan api pada jarak sekitar 20 cm untuk memastikan semua channel sensor merespons dengan benar. Jika sensor sudah berfungsi, pengujian jarak dapat dimulai. Api dinyalakan pada jarak terdekat, kemudian secara bertahap digeser menjauh dengan interval tertentu, misalnya 50 cm, 100 cm, 150 cm, dan seterusnya. Pada setiap jarak, diamati kanal sensor yang masih memberikan respons (ditandai dengan keluaran logika HIGH atau data terdeteksi).

Selain pengujian jarak lurus ke depan, api juga diletakkan pada posisi menyamping atau miring terhadap sensor untuk melihat sudut penglihatan masing-masing channel. Variasi intensitas api (kecil, sedang, besar) juga diuji untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sensitivitas deteksi. Hasil pengujian tersaji pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil Pengujian Sensor Api

No	Jarak Api (cm)	Ch 1	Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 5	Hasil
1	30	1	1	1	1	1	Semua channel mendeteksi api
2	60	1	1	1	1	1	Semua channel mendeteksi api
3	90	1	1	1	1	1	Semua channel mendeteksi api
4	120	1	1	1	0	0	Hanya channel yang di depan mendeteksi api
5	150	1	1	1	0	0	
6	180	1	1	1	0	0	
7	210	1	1	1	0	0	Hanya satu channel depan mendeteksi api
8	240	1	0	0	0	0	
9	270	1	0	0	0	0	
10	300	1	0	0	0	0	



### 3.4 Hasil Pengujian Modul Lora

Modul LoRa Ebyte E220-900T22D merupakan salah satu varian dari seri E200 yang diproduksi oleh Ebyte, sebuah produsen perangkat komunikasi nirkabel yang cukup populer dalam mendukung implementasi sistem IoT. Modul ini menggunakan teknologi komunikasi LoRa yang dikenal dengan jangkauan luas, konsumsi daya rendah, serta kemampuan beroperasi pada kondisi lingkungan perkotaan maupun pedesaan. Modul E220-900T22D bekerja pada frekuensi 850–930 MHz, sehingga memungkinkan transmisi data jarak jauh dengan tingkat interferensi yang lebih rendah dibandingkan dengan modul berbasis frekuensi 2,4 GHz. Salah satu keunggulan utama dari modul ini adalah dukungan terhadap protokol komunikasi UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), yang membuatnya sangat mudah diintegrasikan dengan berbagai jenis mikrokontroler populer, seperti ESP32, Arduino, maupun STM32. Dengan kemudahan tersebut, modul ini dapat diaplikasikan pada berbagai sistem IoT, seperti pemantauan lingkungan, sistem peringatan dini kebakaran, pemantauan energi, serta aplikasi smart city.

Selain itu, modul ini mendukung beberapa mode komunikasi, seperti transparan (transparent transmission mode) maupun fixed transmission mode, yang memberi fleksibilitas dalam pemrograman dan integrasi dengan perangkat lain. Dengan antenna yang sesuai dan konfigurasi parameter yang tepat, modul ini dapat mencapai jangkauan hingga beberapa kilometer di area terbuka.

Proses pengujian modul LoRa Ebyte E220-900T22D dilakukan dengan menyiapkan dua buah modul yang masing-masing berfungsi sebagai pemancar (transmitter) dan penerima (receiver). Kedua modul ini dihubungkan dengan mikrokontroler ESP32 melalui antarmuka komunikasi UART. Untuk memastikan kualitas sinyal, setiap modul dilengkapi dengan antenna eksternal yang dipasang sesuai spesifikasi. Sumber daya diberikan menggunakan port USB laptop atau adaptor 5V agar suplai tegangan stabil selama pengujian.

Sebelum modul digunakan, dilakukan konfigurasi parameter melalui perangkat lunak bawaan Ebyte. Pada tahap ini, frekuensi kerja modul ditetapkan pada 915 MHz, kemudian diatur juga tingkat daya pancar, baud rate UART, serta mode komunikasi. Mode transparent transmission dipilih agar data yang dikirimkan dari mikrokontroler dapat diteruskan secara langsung ke modul LoRa dan diterima tanpa perlu format khusus pada sisi penerima.

Pengujian jangkauan dilakukan dengan cara mengirimkan data berupa teks sederhana maupun data sensor, seperti suhu dan kelembapan. Data tersebut dikirim dari modul pemancar menuju modul penerima. Selanjutnya, hasil penerimaan diamati menggunakan serial monitor pada komputer yang terhubung dengan modul penerima. Pengujian dilakukan dengan meningkatkan jarak secara bertahap, mulai dari ratusan meter hingga beberapa kilometer di area terbuka. Pada setiap jarak pengujian, diamati kualitas sinyal yang diterima melalui parameter RSSI (Received Signal Strength Indicator) dan SNR (Signal-to-Noise Ratio).

Pengujian dilakukan area terbuka dan juga pengujian di lingkungan perkotaan untuk mengetahui dampak penghalang seperti bangunan atau interferensi dari sinyal lain terhadap kualitas komunikasi. Hasil pengujian pada area terbuka tersaji pada Tabel 5, sedangkan hasil pengujian pada area perkotaan disajikan pada Tabel 6.

Pada hasil pengujian Tabel 5 menunjukkan bahwa modul LoRa Ebyte E220-900T22D mampu bekerja dengan sangat baik pada jarak pendek hingga menengah. Pada jarak 100 m dan 500 m, nilai RSSI berada pada kisaran -48 dBm hingga -62 dBm dengan SNR relatif tinggi, masing-masing 9,8 dB dan 7,6 dB. Kondisi ini menghasilkan tingkat keberhasilan pengiriman data sebesar 100%, yang berarti sinyal sangat kuat, stabil, dan tidak mengalami kehilangan data.

Pada jarak 1000 m, sinyal mulai melemah dengan nilai RSSI -74 dBm dan SNR turun menjadi 5,8 dB. Meskipun demikian, tingkat keberhasilan pengiriman masih sangat tinggi, yaitu 98%, dengan hanya sedikit data yang mengalami error. Hal ini menunjukkan bahwa modul tetap andal digunakan pada jarak 1 km di area terbuka.

Ketika jarak diperpanjang hingga 2000 m dan 3000 m, penurunan kualitas sinyal semakin terlihat. RSSI turun hingga -82 dBm pada 2000 m dan -98 dBm pada 3000 m, dengan SNR masing-masing 4,2 dB dan 2,4 dB. Meskipun begitu, tingkat keberhasilan pengiriman masih cukup baik, yaitu 96% dan 92%. Kondisi ini menandakan bahwa modul masih bisa diandalkan untuk komunikasi jarak jauh, walaupun mulai muncul kehilangan data dalam jumlah kecil.

Pada jarak 4000 m, performa modul semakin menurun dengan nilai RSSI mencapai -108 dBm dan SNR tinggal 1,7 dB. Tingkat keberhasilan pengiriman turun menjadi 84%, disertai peningkatan jumlah data yang hilang. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pada area terbuka, jarak efektif komunikasi modul LoRa E220-900T22D berada di kisaran hingga 3 km dengan reliabilitas tinggi, sementara pada jarak 4 km performa mulai menurun secara signifikan.

**Tabel 5.** Hasil Pengujian Modul LoRa di Area Terbuka

Jarak (m)	RSSI (dbm)	SNR (dB)	Keberhasilan Pengiriman (%)	Hasil
100	-48	9,8	100	Sinyal sangat kuat dan sangat stabil
500	-62	7,6	100	Sinyal sangat kuat dan sangat stabil
1000	-74	5,8	98	Ada sedikit data yang error tapi sangat kecil
2000	-82	4,2	96	Masih dapat menerima data dengan baik
3000	-98	2,4	92	Ada peningkatan sedikit data yang hilang
4000	-108	1,7	84	Ada peningkatan data yang hilang

**Tabel 6.** Hasil Hasil Pengujian Modul LoRa di Area Perkotaan

Jarak (m)	RSSI (dbm)	SNR (dB)	Keberhasilan Pengiriman (%)	Hasil
100	-52	9,2	100	Sinyal sangat kuat dan sangat stabil
500	-68	6,8	98	Sinyal masih kuat namun mengalami interferensi
1000	-78	4,7	90	Masih dapat menerima data dengan baik meskipun ada yang hilang
2000	-84	3,6	82	Ada peningkatan sedikit data yang hilang
3000	-110	1,2	78	Beberapa paket data mulai banyak yang hilang
>4000	Tidak terdeteksi	-	<50	Kondisi tidak stabil

Pada hasil pengujian di area perkotaan Tabel 6 menunjukkan bahwa performa modul LoRa Ebyte E220-900T22D mengalami penurunan lebih cepat dibandingkan pengujian di area terbuka. Pada jarak 100 m, modul masih menunjukkan performa optimal dengan nilai RSSI -52 dBm dan SNR 9,2 dB, serta tingkat keberhasilan pengiriman data mencapai 100%. Hal ini menandakan sinyal sangat kuat dan stabil pada jarak dekat.

Pada jarak 500 m, nilai RSSI menurun menjadi -68 dBm dengan SNR 6,8 dB. Meskipun tingkat keberhasilan pengiriman masih sangat tinggi (98%), mulai terdeteksi adanya interferensi dari lingkungan sekitar, yang umum terjadi pada kawasan perkotaan dengan kepadatan bangunan dan sinyal nirkabel lain.

Memasuki jarak 1000 m, kualitas sinyal menurun signifikan, dengan RSSI -78 dBm dan SNR 4,7 dB. Keberhasilan pengiriman data turun menjadi 90%, meskipun modul masih mampu beroperasi dengan cukup baik. Namun, pada jarak 2000 m, performa semakin berkurang dengan tingkat keberhasilan 82% akibat meningkatnya jumlah data yang hilang.

Pada jarak 3000 m, penurunan kualitas semakin tajam. Nilai RSSI mencapai -110 dBm dan SNR hanya 1,2 dB, dengan tingkat keberhasilan pengiriman 78%. Pada kondisi ini, banyak paket data mulai hilang sehingga kestabilan komunikasi menurun drastis. Lebih dari 4000 m, modul tidak lagi mampu mendeteksi sinyal, dengan tingkat keberhasilan pengiriman data kurang dari 50%, yang berarti kondisi komunikasi tidak stabil dan tidak dapat diandalkan.

Secara keseluruhan, pengujian ini memperlihatkan bahwa jangkauan efektif modul LoRa E220-900T22D di area perkotaan hanya sekitar 1–2 km dengan reliabilitas cukup tinggi, sedangkan pada jarak lebih dari 3 km performa menurun signifikan. Faktor utama yang memengaruhi penurunan performa ini adalah adanya hambatan fisik berupa bangunan, kendaraan, serta interferensi sinyal dari perangkat lain di frekuensi serupa. Dengan demikian, meskipun LoRa memiliki keunggulan jarak jauh di area terbuka, penggunaannya di kawasan perkotaan tetap memiliki keterbatasan dan perlu strategi tambahan seperti penempatan gateway lebih rapat atau penggunaan arsitektur mesh untuk menjaga kestabilan komunikasi.

## **KESIMPULAN**

Secara keseluruhan, hasil pengujian beberapa komponen pada sistem pemantauan dan peringatan dini terhadap kebakaran pada daerah perkotaan menunjukkan hasil yang baik untuk dikembangkan lebih lanjut. Pada hasil pengujian sensor suhu dan kelembapan udara DHT22 tingkat akurasi pengukuran kelembapan rata-rata diperoleh 98,67% dan pengukuran suhu rata-rata 97,82%. Untuk hasil pengujian sensor deteksi asap MQ-2 diperoleh hasil sensor dapat mendeteksi tingkat kepekatan asap. Pada pengujian sensor api menggunakan IR flame detektor dengan 5 chanel, diperoleh bahwa sensor bisa mendeteksi secara sempurna kelima chanel sensor pada jarak 90 cm dan pada jarak 300 cm sensor mampu mendeteksi api namun hanya chanel yang berhadapan langsung dengan titik api. Sedangkan pada pengujian modul LoRa hasil pengujian memperlihatkan bahwa jangkauan efektif modul LoRa E220-900T22D di area perkotaan hanya sekitar 1–2 km dengan reliabilitas cukup tinggi, sedangkan pada jarak lebih dari 3 km performa menurun signifikan. Faktor utama yang memengaruhi penurunan performa ini adalah adanya hambatan fisik berupa bangunan, kendaraan, serta interferensi sinyal dari perangkat lain di frekuensi serupa. Dengan demikian, meskipun LoRa memiliki

keunggulan jarak jauh di area terbuka, penggunaannya di kawasan perkotaan tetap memiliki keterbatasan pada jangkauan sinyal karena faktor bangunan dan kepadatan bangunan di kawasan perkotaan, sehingga perlu strategi tambahan seperti penempatan *gateway* lebih rapat atau penggunaan arsitektur mesh untuk menjaga kestabilan komunikasi.

Berdasarkan hasil pengujian semua komponen yang digunakan dalam membangun sistem pemantauan dan peringatan dini secara real-time kebakaran pada daerah perkotaan menggunakan sistem komunikasi LoRa dapat di Implementasikan dengan baik.

## **PENGAKUAN/ACKNOWLEDGEMENTS**

Penulis menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRTPM) atas pemberian dana melalui Hibah Penelitian DIKTISAINTEK berdasarkan Kontrak No. 123/C3/DR.05.00/PL/2025. Pendanaan tersebut telah menunjang kelancaran kegiatan penelitian serta penyusunan karya ilmiah ini secara sistematis.

## **DAFTAR REFERENSI**

- [1] H. N. Jong, "El Niño leads to more fires and toxic air pollution in Indonesia," Mongabay.
- [2] A. Karyati, "204 Fire Cases Hit Central Jakarta along January to December 2021," Berita Jakarta.
- [3] Anas, "71 Kebakaran Terjadi di Kota Yogyakarta sepanjang Tahun 2024," 02 Januari.
- [4] Y. Apriani, W. A. Oktaviani, and I. M. Sofian, "Design and Implementation of LoRa-Based Forest Fire Monitoring System," *J. Robot. Control*, vol. 3, no. 3, pp. 236–243, 2022, doi: 10.18196/jrc.v3i3.14128.
- [5] A. Sogarwal, P. Pandey, P. Kumar, S. Pradhan, and S. Pushpalatha, "Forest Fire Detection Using Lora Communication," *Int. J. Creat. Res. Throghts - IJCRT*, vol. 11, no. 6, pp. 686–693, 2023.
- [6] N. Setyasmara, "Internet of Things ( IoT ) Sistem Peringatan Dini Bahaya Kebakaran berbasis Android dan Arduino," *J. MULTI MEDIA DAN IT*, vol. 5, no. 2, pp. 8–14, 2021.
- [7] T. V Muralidhar, V. V. S. Sandeep, P. Manohar, M. L. Krishna, K. Ruthvik, and S. Bagwari, "An IoT based Real Time Forest Fire Detection & Alerting System Using LoRa Communication," in *2024 11th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)*, 2024, pp. 139–144. doi: 10.1109/SPIN60856.2024.10512122.
- [8] A. Safi *et al.*, "A Fault Tolerant Surveillance System for Fire Detection and Prevention Using LoRaWAN in Smart Buildings.," *Sensors (Basel)*, vol. 22, no. 21, Nov. 2022, doi: 10.3390/s22218411.
- [9] P. Luna, S. Gutiérrez, and H. Ponce, "Geolocation System of Fire Monitoring Station Through LoRawan," *ARN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 16, no. 7, pp. 790–795, 2021.

- [10] A. R. Zulkarnain and A. Rahman, "Pendeteksi Kebakaran Menggunakan Metode Transfer Learning dengan Segmentasi Warna dan Citra," vol. 7, no. 6, pp. 2014–2022, 2024, doi: <https://doi.org/10.32672/jnkti.v7i6.8374>.
- [11] M. R. Razali, I. Priyadi, F. Hadi, and Y. S. Handayani, "Kajian Rancang Bangun Sistem Deteksi Bencana Kebakaran Dan Pemadaman Otomatis Berbasis Whatsapp Dan Web," *Transm. J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 27, no. 1, pp. 40–48, Jan. 2025, doi: [10.14710/transmisi.27.1.40-48](https://doi.org/10.14710/transmisi.27.1.40-48).
- [12] 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](https://doi.org/10.37776/ze.v14i3.1620).
- [13] K. S. S., T. A., C. Deepak, and S. K. V, "Design and Development of Fire Fighting UAV for Urban Environments," in *2024 Third International Conference on Distributed Computing and Electrical Circuits and Electronics (ICDCECE)*, 2024, pp. 1–8. doi: [10.1109/ICDCECE60827.2024.10549695](https://doi.org/10.1109/ICDCECE60827.2024.10549695).
- [14] Z. Pei, J. Li, J. Guo, Q. Li, and J. Chen, "Using local co-location quotient and niche-based model to assess fire risk in urban environments: A case study of Beijing, China," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 99, p. 104989, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104989>.
- [15] S. Dai, T. Han, M. Yang, Y. Zhang, and L. Wang, "Towards Small Scale Urban Fire Detection Dataset," in *2022 IEEE 9th International Conference on Cyber Security and Cloud Computing (CSCloud)/2022 IEEE 8th International Conference on Edge Computing and Scalable Cloud (EdgeCom)*, 2022, pp. 99–104. doi: [10.1109/CSCloud-EdgeCom54986.2022.00026](https://doi.org/10.1109/CSCloud-EdgeCom54986.2022.00026).
- [16] S. Kavitha, K. Kanchana, and G. Venkatesan, "Long Range (LoRa) and Alert Network System for Forest Fire Prediction," *Asian J. Water, Environ. Pollut.*, vol. 20, no. 6, pp. 61–66, Nov. 2023, doi: [10.3233/AJW230080](https://doi.org/10.3233/AJW230080).
- [17] R. P. K, J. M. Mathana, T. A. Ramya, and R. Nirmala, "LoRa network based high performance forest fire detection system," *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, 2021, doi: [10.1016/j.matpr.2021.05.656](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.656).
- [18] R. Mukhia, "Performance Evaluation of LoRaWAN Forest Fire Monitoring Network in the Wild," pp. 96–104, doi: [10.1145/3630590.3630602](https://doi.org/10.1145/3630590.3630602).
- [19] A. E. Ferreira *et al.*, "A study of the LoRa signal propagation in forest , urban , and suburban environments," *Ann. Telecommun. - Ann. des télécommunications*, 2020.
- [20] T. P. Truong, Q. T. Tran, and P. T. Le, "Design and implementation of a LoRa-based system for warning of forest fire," vol. 21, no. 5, pp. 1113–1120, 2023, doi: [10.12928/TELKOMNIKA.v21i5.24712](https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v21i5.24712).
- [21] M. D. *et al.*, "FireWatch: LoRa-Connected Fire Detection and Monitoring System," in *2023 International Conference on Next Generation Electronics*



- (*NEleX*), 2023, pp. 1–5. doi: 10.1109/NEleX59773.2023.10420924.
- [22] A. Sharma, A. Nayyar, K. J. Singh, D. S. Kapoor, K. Thakur, and S. Mahajan, “An IoT-based forest fire detection system: design and testing,” *Multimed. Tools Appl.*, vol. 83, no. 13, pp. 38685–38710, 2024, doi: 10.1007/s11042-023-17027-9.
  - [23] G. Pan, Y. Xie, and Q. Yang, “IoT-based cloud monitoring system for building fires,” *Int. J. Metrol. Qual. Eng.*, vol. 16, pp. 1–10, 2025, doi: 10.1051/ijmqe/2024020.
  - [24] Keano Nikko L. Sy and Jose C. Agoylo Jr., “IoT-Enabled Fire Alarm System with Cloud-Based Storage and Monitoring,” *Int. J. Latest Technol. Eng. Manag. Appl. Sci.*, vol. 13, no. 9, pp. 188–196, 2024, doi: 10.51583/ijltemas.2024.130919.
  - [25] H. Zhang, R. Zhang, and J. Sun, “Developing real-time IoT-based public safety alert and emergency response systems,” *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, p. 29056, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-13465-7.
  - [26] U. I. Abdullahi, W. Zhang, Y. Cao, and G. Irankunda, “Integrating IoT Technology for Fire Risk Monitoring and Assessment in Residential Building Design,” *Buildings*, vol. 15, no. 8, 2025, doi: 10.3390/buildings15081346.
  - [27] F. Adelantado, X. Vilajosana, P. Tuset-Peiro, B. Martinez, J. Melia-Segui, and T. Watteyne, “Understanding the Limits of LoRaWAN,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 55, no. 9, pp. 34–40, 2017, doi: 10.1109/MCOM.2017.1600613.
  - [28] A. I. Irawan, R. Patmasari, and M. R. Hidayat, “Peningkatan Kinerja Sensor DS18B20 pada Sistem IoT Monitoring Suhu Kolam Ikan,” *JTERA (Jurnal Teknol. Rekayasa)*, vol. 5, no. 1, p. 101, 2020, doi: 10.31544/jtera.v5.i1.2019.101-110.