

Implementasi WSN untuk Peringatan Dini Kebakaran Hutan Berbasis LoRaWAN dan Notifikasi Telegram

Dendy Prasetyo¹, Sinka Wilyanti², Legenda Prameswono Pratama^{3*}, Devan Junesco Vresdian⁴, Brainvendra Widi Dionova⁵, Hamzah⁶

^{1,2,3,4,5,6} Program Studi Teknik Elektro Universitas Global Jakarta, Depok

Jl. Boulevard Grand Depok City, Tirtajaya, Kec. Sukmajaya, Kota Depok, Jawa Barat 16412

Received: 14-08-2025

Accepted: 01-09-2025

Keywords:

Deteksi Kebakaran;
Kalibrasi Sensor;
LoRaWAN;
Wireless Sensor Network;
Telegram.

Correspondent Email:

legenda@jgu.ac.id

Abstrak. Kebakaran hutan merupakan salah satu bencana yang dapat mengancam keseimbangan ekosistem, merusak keanekaragaman hayati, serta menimbulkan kerugian ekonomi yang sangat besar. Kabupaten Tegal termasuk wilayah yang memiliki risiko tinggi terhadap kejadian kebakaran hutan, sehingga diperlukan sistem yang mampu melakukan deteksi dini secara efektif. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem peringatan dini kebakaran hutan berbasis Wireless Sensor Network (WSN) yang diintegrasikan dengan protokol LoRaWAN dan notifikasi real-time melalui aplikasi Telegram. Sistem ini memanfaatkan sensor DHT22 untuk mengukur suhu serta kelembapan, dan sensor MQ-2 untuk mendeteksi konsentrasi gas berbahaya. Kedua sensor dikalibrasi terlebih dahulu untuk meningkatkan akurasi pengukuran. Ambang batas peringatan ditentukan pada suhu 40 °C dan konsentrasi gas 300 ppm. Apabila nilai ambang terlampaui, buzzer akan aktif dan notifikasi langsung dikirimkan ke Telegram. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berfungsi secara stabil dengan delay transmisi antara 397–484 ms, throughput berkisar 1,64–3,38 kbps, dan tidak ditemukan packet loss. Berdasarkan hasil tersebut, sistem ini terbukti mampu mendeteksi potensi kebakaran hutan lebih awal sehingga dapat mempercepat tindakan respons petugas di lapangan.

Abstract. Forest fires are one of the most destructive disasters that threaten ecosystem balance, biodiversity, and can cause severe economic losses. Tegal Regency is among the regions with a high risk of forest fires, making it essential to develop an effective early warning system. This research aims to design and implement a forest fire early warning system based on a Wireless Sensor Network (WSN) integrated with the LoRaWAN protocol and real-time notifications through the Telegram application. The system utilizes DHT22 sensors to measure temperature and humidity, and MQ-2 sensors to detect hazardous gas concentrations. Both sensors are calibrated in advance to improve measurement accuracy. The warning mechanism is configured with a threshold of 40 °C for temperature and 300 ppm for gas concentration. When these thresholds are exceeded, the buzzer is activated and a notification is immediately sent to Telegram. Experimental results demonstrate that the system operates stably with a transmission delay ranging from 397–484 ms, a throughput between 1.64–3.38 kbps, and no packet loss. Based on these findings, the system has proven effective in detecting potential forest fires at an early stage, thereby enabling faster response from field personnel to minimize risks and impacts.

1. PENDAHULUAN

Kebakaran hutan merupakan ancaman serius bagi kawasan wisata alam di Kabupaten Tegal. Peristiwa kebakaran yang terjadi pada 19 Agustus 2024 di petak 49/HL RPH Guci, BKPH Bumijawa, menyebabkan kerusakan lahan seluas dua hektare dan diduga dipicu oleh puntung rokok yang dibuang sembarangan [1]. Dampak kebakaran hutan sangat merugikan, baik dari segi lingkungan, sosial, maupun ekonomi. Oleh karena itu, diperlukan sistem peringatan dini yang mampu mendeteksi potensi kebakaran secara cepat dan efisien.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) menawarkan solusi efektif melalui penerapan *Wireless Sensor Network* (WSN) untuk pemantauan lingkungan secara *real time*. Teknologi ini memungkinkan penggunaan sensor untuk mengukur parameter penting seperti suhu, kelembapan, dan gas, yang hasilnya dapat dikirim melalui jaringan *LoRaWAN* (*Long Range Wide Area Network*). *LoRaWAN* dikenal efisien dari sisi konsumsi daya dan jangkauan, sehingga cocok digunakan di area hutan yang luas. Notifikasi *real-time* melalui aplikasi Telegram juga menjadi nilai tambah karena mempermudah penyampaian informasi kepada petugas.

Meskipun telah banyak penelitian tentang deteksi kebakaran berbasis IoT, implementasi sistem WSN dengan komunikasi *LoRaWAN* yang dikombinasikan dengan notifikasi instan melalui Telegram masih jarang diterapkan secara khusus di kawasan rawan kebakaran seperti Kabupaten Tegal. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sistem peringatan dini kebakaran hutan berbasis WSN dan *LoRaWAN* yang dilengkapi notifikasi Telegram. Permasalahan yang diangkat mencakup perancangan sistem sensor, integrasi dengan aplikasi Telegram, dan evaluasi kualitas layanan (*delay*, *throughput*, dan kestabilan pengiriman data).

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem deteksi kebakaran berbasis teknologi sensor dan jaringan komunikasi nirkabel yang responsif dan efisien. Selain itu, hasilnya juga dapat menjadi acuan praktis bagi instansi pemerintah dan pengelola kawasan wisata dalam upaya mitigasi bencana kebakaran hutan. Penelitian

ini dibatasi pada penggunaan sensor DHT22 dan MQ-2 untuk suhu, kelembapan, dan gas, tanpa melibatkan logika *fuzzy* atau *machine learning*, serta menggunakan notifikasi Telegram dan sumber daya baterai *Li-Ion* 18650.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Wireless Sensor Network* (WSN)

Wireless Sensor Network (WSN) merupakan jaringan sensor nirkabel yang digunakan untuk memantau kondisi lingkungan secara *real time*. Jaringan ini terdiri dari sensor yang mengukur suhu, kelembapan, dan gas atau asap untuk mendeteksi potensi kebakaran hutan. WSN efektif digunakan di area luas dan sulit dijangkau karena mampu mengirimkan data ke pusat pemrosesan untuk dianalisis secara otomatis [2].

2.2. *LoRaWAN* (*Long Range Wide Area Network*)

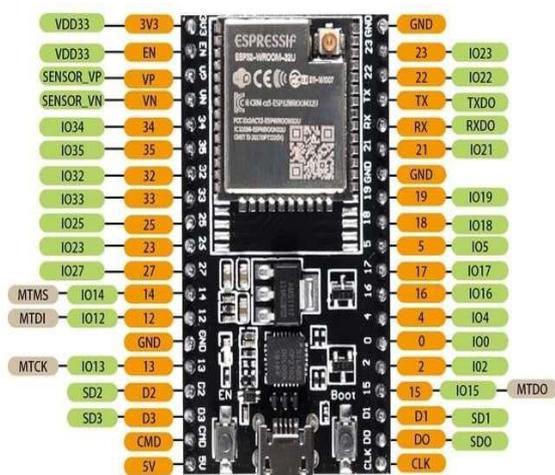
Kemampuan komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya rendah menjadikan *LoRa* sebagai pilihan teknologi yang efektif untuk pemantauan lingkungan. Teknologi ini mampu mengirimkan data secara andal dari lokasi terpencil tanpa memerlukan infrastruktur jaringan yang kompleks. Penelitian pada sistem pemantauan lingkungan berbasis IoT di peternakan ayam membuktikan efektivitas *LoRa* dalam menjaga kestabilan pengiriman data meskipun jarak antara sensor dan *gateway* cukup jauh. Hasil studi tersebut menguatkan potensi penerapan *LoRa* untuk sistem deteksi dini kebakaran hutan di wilayah terpencil [3].

2.3. *Sistem Peringatan Dini Kebakaran*

Sistem peringatan dini kebakaran hutan dan lahan dirancang untuk mendeteksi potensi kebakaran sejak dini dengan memanfaatkan sensor suhu dan asap yang terintegrasi dalam jaringan sensor nirkabel *Wireless Sensor Network* (WSN). Sensor suhu digunakan untuk memantau kenaikan temperatur udara yang signifikan, sementara sensor asap mendeteksi keberadaan partikel hasil pembakaran yang menjadi indikator awal terjadinya kebakaran. Data yang diperoleh dari sensor dikirimkan secara nirkabel ke pusat pemantauan untuk dianalisis [4].

2.3.1. ESP32

ESP32 digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi *Internet of Things* (IoT) karena mendukung konektivitas *Wi-Fi* dan *Bluetooth*. Dalam konteks sistem deteksi kebakaran hutan, perangkat ini sering dipilih karena memiliki kemampuan pemrosesan yang baik, konsumsi daya rendah, serta fleksibel untuk komunikasi nirkabel, yang menjadikannya pilihan ideal dalam pengembangan sistem berbasis *Wireless Sensor Network* (WSN) [5].

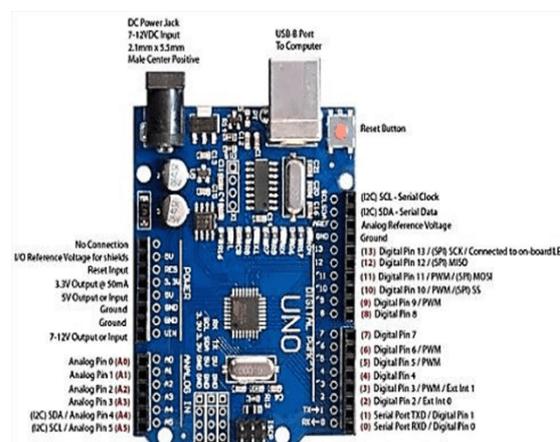


Gambar 1. ESP32

2.3.2. Arduino Uno

Arduino Uno merupakan papan mikrokontroler berbasis chip ATmega328P yang banyak digunakan dalam pengembangan prototipe elektronik karena kemudahan akses, fleksibilitas, serta sifatnya yang open-source. Papan ini dilengkapi dengan sejumlah pin input/output digital dan analog yang memungkinkan integrasi dengan berbagai sensor maupun aktuator, sehingga dapat digunakan pada sistem kontrol otomatis, robotika, maupun aplikasi *Internet of Things* (IoT). Penggunaannya didukung oleh perangkat lunak Arduino IDE yang sederhana dan mudah dioperasikan, sehingga cocok bagi pemula maupun pengembang berpengalaman untuk membuat berbagai inovasi. Arduino Uno telah terbukti efektif dalam sistem otomatisasi persediaan barang, di mana perangkat ini mampu mengendalikan sensor dan aktuator secara cepat dan akurat. Dengan dukungan ekosistem yang luas, harga terjangkau, serta komunitas global yang aktif, Arduino Uno menjadi salah satu platform utama dalam

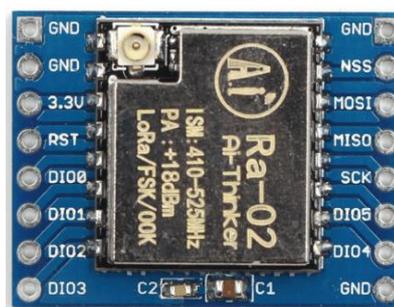
pendidikan, penelitian, maupun pengembangan teknologi di berbagai bidang [6].



Gambar 2. Arduino Uno

2.3.3. LoRa SX1278

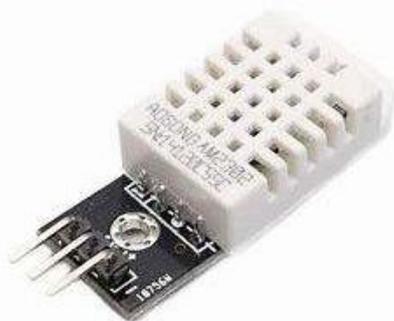
LoRa SX1278 digunakan sebagai modul komunikasi jarak jauh yang hemat daya. Modul ini bekerja pada frekuensi 433 MHz dan cocok dipakai untuk sistem seperti jaringan sensor tanpa kabel di area terpencil. Karena sinyalnya bisa menembus hambatan seperti pepohonan atau bangunan, *LoRa SX1278* banyak dipilih untuk proyek pemantauan lingkungan dan kebakaran hutan. Modul ini mampu bekerja dengan baik di daerah yang sulit dijangkau dan minim jaringan, sehingga sangat berguna dalam sistem berbasis *Internet of Things* (IoT). Selain itu, pemasangannya cukup mudah dan dapat digunakan bersama berbagai jenis mikrokontroler. Kombinasi antara jangkauan luas dan konsumsi daya rendah membuatnya ideal untuk sistem pemantauan jangka panjang. Modul ini juga mendukung transmisi data dua arah, sehingga memungkinkan komunikasi antara *node* dan *gateway* secara efisien [7].



Gambar 3. LoRa SX1278

2.3.4. Sensor Suhu (DHT22)

Sensor suhu digunakan untuk mendeteksi perubahan suhu lingkungan yang terjadi akibat kebakaran. Peningkatan suhu yang drastis seringkali menandakan adanya kebakaran. Sensor suhu yang sering digunakan dalam deteksi kebakaran meliputi LM35, DHT11, DHT22, dan TMP36. Sensor-sensor ini dapat memantau suhu dan memberikan respons ketika suhu melebihi batas normal yang menunjukkan adanya kebakaran [8].



Gambar 4. Sensor Suhu (DHT22)

2.3.5. Sensor Gas (MQ2)

Sensor gas perangkat yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan atau konsentrasi gas tertentu di atmosfer. Dalam konteks sistem deteksi kebakaran hutan, sensor gas sangat penting untuk mendeteksi tanda-tanda kebakaran, seperti peningkatan konsentrasi gas berbahaya (misalnya, karbon monoksida, karbon dioksida, atau asap) yang terjadi akibat pembakaran penggunaan sensor gas membantu mendeteksi potensi kebakaran lebih cepat sebelum api terlihat secara visual. Dengan begitu, tindakan pencegahan bisa segera dilakukan untuk menghindari kerusakan yang lebih luas [9].



Gambar 5. Sensor Gas (MQ2)

2.3.6. Aplikasi Telegram

Telegram adalah aplikasi pesan instan yang terkenal dengan fitur-fitur unggulannya, seperti kecepatan, keamanan, dan kemudahan penggunaan. Telegram memiliki kemampuan untuk mengirim pesan dalam berbagai format, termasuk teks, gambar, video, dan file lainnya, yang menjadikannya pilihan populer untuk sistem notifikasi dalam berbagai aplikasi *Internet of Things (IoT)*, termasuk dalam sistem peringatan dini kebakaran hutan [10].



Gambar 6. Aplikasi Telegram

3. METODE PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa perangkat keras dan perangkat lunak (*hardware-software engineering*). Tujuannya adalah untuk merancang, membangun, dan menguji prototipe sistem peringatan dini kebakaran hutan berbasis *Wireless Sensor Network (WSN)* yang memanfaatkan teknologi *LoRaWAN* serta notifikasi *real time* melalui Telegram [11].

3.2. Bahan Penelitian

Pada penelitian ini, bahan-bahan yang digunakan untuk melakukan penelitian melibatkan entitas-entitas fisik dan data yang diolah untuk menghasilkan fenomena yang dapat diamati dan digunakan sebagai bahan kajian. Penelitian ini menggunakan sejumlah bahan dan perangkat yang dikategorikan ke dalam dua kelompok utama, yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Bahan-bahan ini digunakan untuk membangun sistem peringatan dini kebakaran hutan yang mampu mendeteksi parameter lingkungan secara *real time*, mengirimkan data

melalui jaringan *LoRaWAN*, dan menyampaikan notifikasi ke pengguna melalui aplikasi Telegram.

3.3. Alat Penelitian

Dalam penelitian ini, sejumlah alat digunakan untuk mendukung implementasi Sistem Pendeteksi Dini Kebakaran Hutan berbasis *LoRaWAN* dan Telegram. Alat-alat tersebut terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak yang bekerja secara sinergis untuk memastikan sistem berjalan dengan baik. Berikut adalah alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini:

3.3.1. Perangkat Keras (Hardware)

Perangkat keras dalam sistem peringatan dini kebakaran hutan berbasis *Wireless Sensor Network* (WSN) dan *LoRaWAN* terdiri dari beberapa komponen utama yang saling mendukung. Mikrokontroler yang digunakan adalah ESP32 dan Arduino Uno, berfungsi sebagai pengendali utama yang menghubungkan sensor dengan sistem komunikasi. Sensor suhu dan kelembapan menggunakan DHT22, sedangkan untuk mendeteksi keberadaan gas atau asap akibat kebakaran digunakan sensor MQ-2. Sistem ini juga dilengkapi dengan modul *Real Time Clock* (RTC) DS3231 untuk menjaga akurasi waktu pencatatan data. Untuk pengiriman data jarak jauh secara efisien, digunakan modul *LoRa SX1278* sebagai perangkat komunikasi nirkabel. Seluruh komponen ini bekerja secara terintegrasi untuk membaca kondisi lingkungan, memproses data, dan mengirimkan informasi ke pusat pemantauan atau aplikasi notifikasi seperti Telegram.

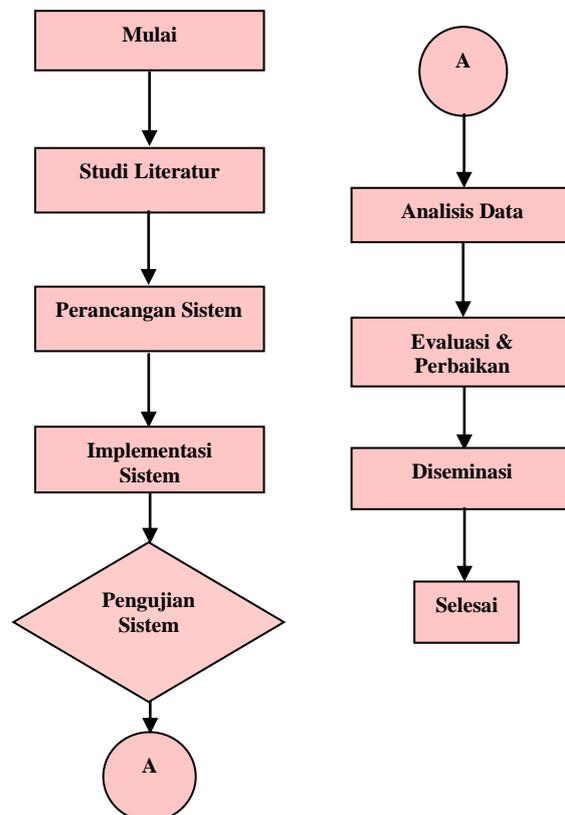
3.3.2. Perangkat Lunak (Software)

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua komponen utama. Pertama, *firmware* yang dijalankan pada mikrokontroler berfungsi untuk membaca data dari sensor dan mengirimkannya melalui modul *LoRaWAN*. Pemrograman dilakukan menggunakan Arduino IDE dan *PlatformIO* untuk ESP32. Kedua, sistem notifikasi menggunakan Telegram Bot API yang ditulis dengan bahasa pemrograman *Python* menggunakan pustaka *python-telegram-bot*. API ini memungkinkan pengiriman peringatan kebakaran secara *real time* ke Telegram agar

informasi cepat diterima oleh petugas atau pengguna.

3.4. Jalan Penelitian

Adapun tahapan jalan penelitian secara berurutan adalah sebagai berikut:



Gambar 7. Tahapan Penelitian

3.4.1 Tahap Intelengensi

Penelitian ini diawali dengan studi literatur mengenai WSN, *LoRaWAN*, sensor DHT22 dan MQ-2, RTC, ESP32, serta *Telegram Bot API*, termasuk meninjau penelitian terdahulu terkait deteksi dini kebakaran hutan. Selanjutnya dilakukan perancangan arsitektur sistem yang terdiri dari *sensor node*, modul *LoRa*, *gateway*, dan notifikasi Telegram, beserta rangkaian elektronika dan skema komunikasi data. Implementasi meliputi perakitan *sensor node* dengan ESP32, DHT22, MQ-2, RTC, pemasangan *LoRa SX1278*, pembuatan program mikrokontroler, serta integrasi dengan bot Telegram. Pengujian dilakukan terhadap akurasi sensor, jangkauan dan kestabilan *LoRa*, kecepatan notifikasi, dan waktu respon. Data hasil pengujian dianalisis dalam tabel dan

grafik untuk mengukur *delay*, jangkauan, dan keandalan sistem. Hasil evaluasi digunakan untuk memberikan rekomendasi perbaikan, sedangkan temuan penelitian disebarkan melalui seminar, *workshop*, atau media daring kepada pihak terkait dan masyarakat

3.4.2 Tahap Desain

Desain sistem penelitian ini bertujuan membangun *Wireless Sensor Network (WSN)* untuk memantau suhu dan gas secara *real time*, serta mengirimkan notifikasi dini melalui Telegram saat terdeteksi indikasi kebakaran hutan.

1. Luas Lahan

Penentuan cakupan area dilakukan berdasarkan:

- a. Luas area (A) ± 2 hektare (20.000 m²).
- b. Ketersediaan lahan dan lokasi strategis untuk pengujian, seperti lahan rawan kebakaran.

2. Cakupan Area dan Jangkauan Komunikasi

- a. Sensor-sensor dihubungkan ke satu *LoRa node (end device)* yang memiliki jangkauan transmisi hingga 10–15 km di area terbuka dan 2-5 km di lingkungan industri tergantung kondisi medan dan antena yang digunakan [12].
- b. Faktor koreksi medan (k) : 1,5 (untuk memperhitungkan kontur, pohon, gangguan angin, dll) [13].
- c. Jarak pemasangan antar *node sensor* (r) bisa memantau area efektif seluas 20-30 meter [14].

3. Perhitungan

- a. Luas cakupan satu sensor [13] :

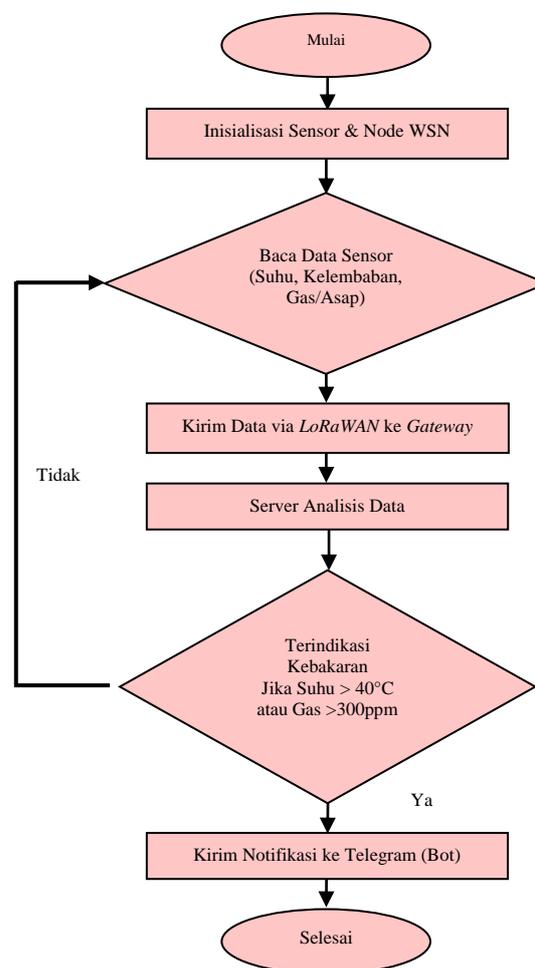
$$A_s = \pi r^2 = \pi \times 30^2 = 2.827 \text{ m}^2 \quad [1]$$

- b. Jumlah sensor

$$N = k \cdot \frac{A}{A_s} = 1,5 \cdot \frac{20.000}{2.827} = 1,5 \cdot 7,07 = 10,6 \quad [2]$$

Maka dibutuhkan 11 box sensor untuk mencakup area 2 hektare secara efektif, di mana setiap titik dilengkapi dengan satu set sensor suhu dan gas.

3.4.2.1. Flowchart Sistem

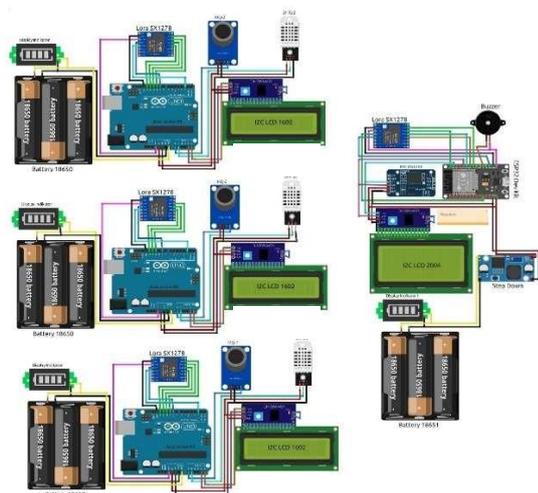


Gambar 8. Flowchart Sistem

Gambar 8 menunjukkan alur kerja sistem deteksi dini kebakaran hutan berbasis WSN, *LoRaWAN*, dan notifikasi Telegram. *Node sensor* menggunakan ESP32, DHT22, dan MQ-2 untuk mendeteksi suhu serta gas. Data dikirim lewat *LoRa SX1278* ke *gateway* dengan jangkauan 2–5 km tergantung kondisi. *Gateway* meneruskan data ke server untuk diproses dan dibandingkan dengan ambang batas. Jika terdeteksi potensi kebakaran, sistem memicu alarm dan mengirim notifikasi Telegram berisi waktu, parameter lingkungan, dan status peringatan secara *real time*. Selain itu, sistem ini dapat menyimpan data historis pemantauan sebagai basis analisis tren lingkungan sehingga memudahkan evaluasi risiko kebakaran di masa depan, serta dapat diperluas dengan penambahan lebih banyak

node sensor agar cakupan area pemantauan semakin luas dan akurat.

3.4.2.2 Wiring Diagram Alat

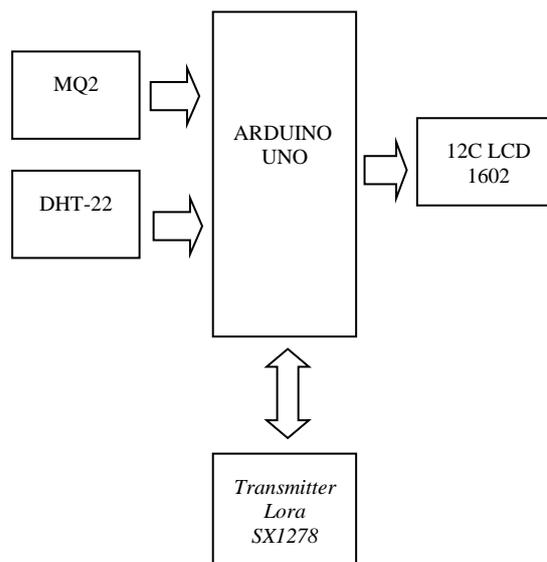


Gambar 9. Flowchart Sistem

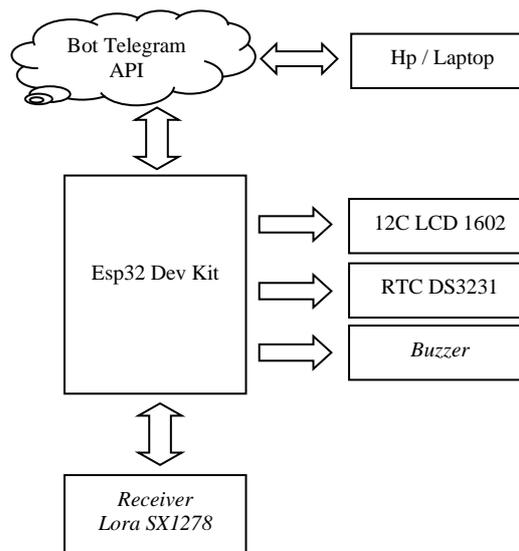
Gambar 9 menunjukkan wiring diagram sistem peringatan dini kebakaran berbasis WSN. Sistem terdiri dari *transmitter* dengan Arduino UNO, sensor suhu, sensor gas, modul *LoRa SX1278*, dan LCD I2C untuk membaca dan menampilkan data. Data dikirim ke *receiver* yang menggunakan ESP32, modul *LoRa*, LCD I2C, dan *buzzer*. ESP32 terhubung ke internet untuk mengirim notifikasi *real time* ke Telegram.

3.4.2.3 Block Diagram Alat

Setelah perancangan wiring, dibuat *block diagram* untuk menggambarkan alur kerja sistem secara konseptual. Diagram ini menunjukkan hubungan antar komponen utama sistem peringatan dini kebakaran hutan berbasis WSN dengan komunikasi *LoRaWAN*. *Transmitter* terdiri dari sensor suhu dan gas yang terhubung ke Arduino UNO untuk membaca data dan mengirimkannya melalui *LoRa*. Data diterima *receiver* berbasis ESP32 yang memproses informasi dan mengirim notifikasi *real time* ke Telegram melalui internet. Dengan adanya *block diagram* ini, alur komunikasi data dapat dipahami secara lebih jelas dan membantu dalam proses implementasi maupun pengembangan sistem secara menyeluruh.



Gambar 10. Blok Diagram *Transmitter*



Gambar 11. Blok Diagram *Receiver*

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemasangan WSN Berbasis LoRaWAN

Sistem peringatan dini kebakaran hutan yang dibangun memanfaatkan teknologi WSN berbasis *LoRaWAN* dengan integrasi notifikasi Telegram. Hasil implementasi menunjukkan sistem dapat memantau kondisi lingkungan secara *real time* dan memberikan peringatan dini secara efektif.

Perangkat keras terdiri dari *transmitter* dan *receiver* yang saling terhubung melalui *LoRa*. *Node sensor (transmitter)* menggunakan

Arduino UNO, DHT22, MQ-2, LCD 16x2 I2C, *LoRa* SX1278, dan baterai *Li-Ion*. Komponen ini dirakit untuk membaca suhu, kelembapan dan gas, lalu mengirim data ke *receiver*. *Receiver* menggunakan ESP32, RTC DS3231, LCD 16x2 I2C, *buzzer*, *LoRa* SX1278, dan baterai *Li-Ion*. ESP32 memproses data, mengaktifkan alarm lokal melalui *buzzer*, dan mengirimkan notifikasi *real time* ke Telegram melalui koneksi internet. *Node sensor* ditempatkan dalam box dengan antena eksternal untuk memperkuat sinyal.

Perangkat lunak dikembangkan dengan Arduino IDE menggunakan bahasa C/C++. Algoritma kerja meliputi:

- Inisialisasi sensor DHT22 dan MQ-2, modul *LoRa/WiFi*, serta konfigurasi token dan chat ID Telegram.
- Pembacaan sensor suhu, kelembapan, dan gas/asap secara berkala.
- Evaluasi kondisi, di mana sistem memicu status Peringatan Kebakaran jika suhu > 40°C atau gas > 300 ppm.
- Pengiriman data melalui *LoRa* SX1278 ke *gateway*.
- Notifikasi Telegram otomatis jika ambang batas terlampaui.
- Tampilan lokal nilai sensor pada LCD untuk monitoring lapangan.

Sistem dirancang agar bekerja secara otomatis, terintegrasi dan beroperasi secara berkelanjutan tanpa memerlukan intervensi manual dari pengguna. Setiap komponen telah diprogram untuk menjalankan fungsi spesifik, mulai dari pengambilan data sensor, pengolahan informasi, hingga pengiriman notifikasi peringatan secara *real time*, sehingga seluruh proses dapat berjalan secara mandiri. Dengan desain ini, sistem mampu melakukan pemantauan lingkungan hutan secara terus-menerus selama 24 jam penuh, bahkan pada kondisi lokasi terpencil yang sulit dijangkau. Integrasi antara *node sensor*, modul komunikasi *LoRa*, *gateway*, serta *platform* notifikasi Telegram menjadikan sistem lebih efisien dan responsif dalam mendeteksi potensi kebakaran. Selain itu, penerapan baterai yang hemat energi dan memiliki kapasitas penyimpanan memadai akan meningkatkan keandalan sistem dalam jangka panjang. Selain itu, penerapan baterai yang hemat energi dan memiliki kapasitas penyimpanan memadai akan meningkatkan keandalan sistem dalam

jangka panjang. Baterai juga memungkinkan sistem ditempatkan di area terpencil yang jauh dari jaringan listrik, sehingga fleksibel dalam mendukung pemantauan hutan secara luas.



Gambar 12. *Node Sensor*

4.2. Pengujian Perangkat

Pengujian dilakukan untuk memastikan seluruh komponen sistem peringatan dini kebakaran bekerja terpadu dan akurat. Tahap ini juga digunakan untuk mengevaluasi hasil implementasi, menyesuaikan sistem dengan kondisi lapangan, serta meningkatkan keandalan deteksi dan respons terhadap potensi kebakaran.

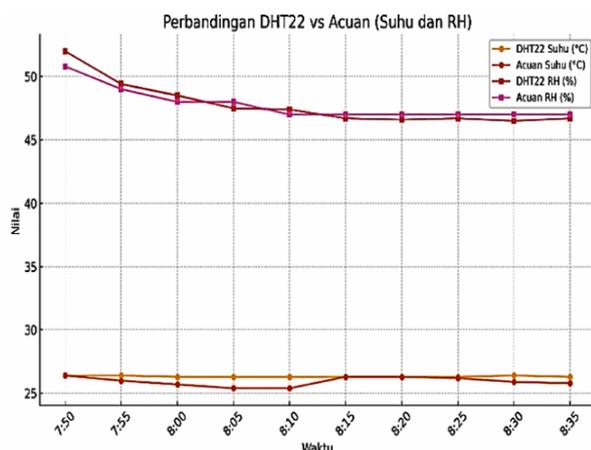
4.2.1. Kalibrasi Sensor

Kalibrasi dilakukan agar hasil pengukuran sensor sesuai kondisi sebenarnya. Proses ini membandingkan data sensor dengan alat ukur standar pada lingkungan yang sama, kemudian menghitung selisih rata-rata untuk membentuk rumus koreksi.

Proses penyesuaian sensor penting untuk memastikan akurasi dan keandalan data. Berdasarkan penelitian [15], DHT22 disesuaikan dengan membandingkan hasilnya dengan *thermohygrometer* standar di ruang dengan kondisi terkontrol. Data diambil berulang untuk konsistensi, lalu selisih rata-rata dihitung dan digunakan membentuk persamaan koreksi. Persamaan ini diterapkan saat pengujian lapangan agar hasil lebih mendekati kondisi sebenarnya, sehingga meningkatkan akurasi deteksi suhu dan kelembapan. Dengan kalibrasi ini, DHT22 dapat memberikan data yang lebih andal untuk analisis dan pengambilan keputusan dalam sistem peringatan dini kebakaran.

Table 1. Hasil Kalibrasi Sensor DHT22 Dengan Alat Ukur

No	Waktu	DHT22 Suhu (°C)	Acuan Suhu (°C)	Selisih (ΔT)	DHT22 RH (%)	Acuan RH (%)	Selisih (ΔRH)
1	7:50	26.4	26.4	0	52	50.8	1.2
2	7:55	26.4	26	0.4	49.4	49	0.4
3	8:00	26.3	25.7	0.6	48.5	48	0.5
4	8:05	26.3	25.4	0.9	47.5	48	0.5
5	8:10	26.3	25.4	0.9	47.4	47	0.4
6	8:15	26.3	26.3	0	46.7	47	0.3
7	8:20	26.3	26.3	0	46.6	47	0.4
8	8:25	26.3	26.2	0.1	46.7	47	0.3
9	8:30	26.4	25.9	0.5	46.5	47	0.5
10	8:35	26.3	25.8	0.5	46.7	47	0.3
Rata-rata				0.39			0.48



Gambar 13. Grafik Koreksi Suhu dan Kelembaban

Berdasarkan grafik, suhu DHT22 mampu membaca suhu dan kelembapan dengan tingkat akurasi yang cukup baik dibandingkan alat acuan. Dari tabel hasil pengukuran, selisih suhu (ΔT) berkisar antara 0 – 0,9 °C dengan nilai rata-rata selisih sebesar 0,39 °C. Sedangkan untuk kelembapan relatif (RH), selisih pengukuran (ΔRH) berkisar antara 0,3 – 1,2 % dengan rata-rata selisih sebesar 0,48 %. Nilai selisih tersebut tergolong kecil sehingga menunjukkan bahwa sensor DHT22 cukup andal digunakan dalam pemantauan lingkungan. Pola pengukuran juga memperlihatkan konsistensi, di mana data sensor mengikuti tren perubahan yang sama dengan alat acuan baik untuk suhu maupun kelembapan. Hal ini menegaskan bahwa deviasi yang muncul masih berada dalam batas

toleransi wajar untuk aplikasi lapangan. Dengan hasil tersebut, sensor DHT22 layak digunakan sebagai bagian dari sistem peringatan dini kebakaran hutan yang membutuhkan data suhu dan kelembapan secara *real time*. Secara keseluruhan, kinerja sensor dalam pengujian ini memberikan dasar yang kuat untuk mendukung implementasi sistem deteksi dini yang lebih luas. Selain itu, kestabilan hasil pengukuran dari waktu ke waktu juga membuktikan bahwa sensor dapat diandalkan untuk pemantauan jangka panjang. Faktor ini penting dalam konteks aplikasi di lapangan, karena sistem harus bekerja terus-menerus tanpa memerlukan kalibrasi berulang dalam jangka pendek. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa DHT22 tidak hanya memenuhi aspek akurasi, tetapi juga aspek konsistensi dan kehandalan untuk sistem berbasis *Internet of Things* (IoT).

Sensor MQ-2 bekerja dengan mengukur resistansi internal (R_S) yang berubah saat mendeteksi gas. Untuk memperoleh nilai referensi, sensor dikalibrasi di udara bersih untuk mendapatkan R_0 . Berdasarkan *datasheet* [16], rasio R_S/R_0 di udara bersih $\approx 9,8-9,83$. Proses kalibrasi dimulai dengan menyalakan sensor, membiarkannya stabil di udara bersih, lalu mengukur tegangan keluarannya (V_{out}). Nilai R_S dihitung dengan rumus:

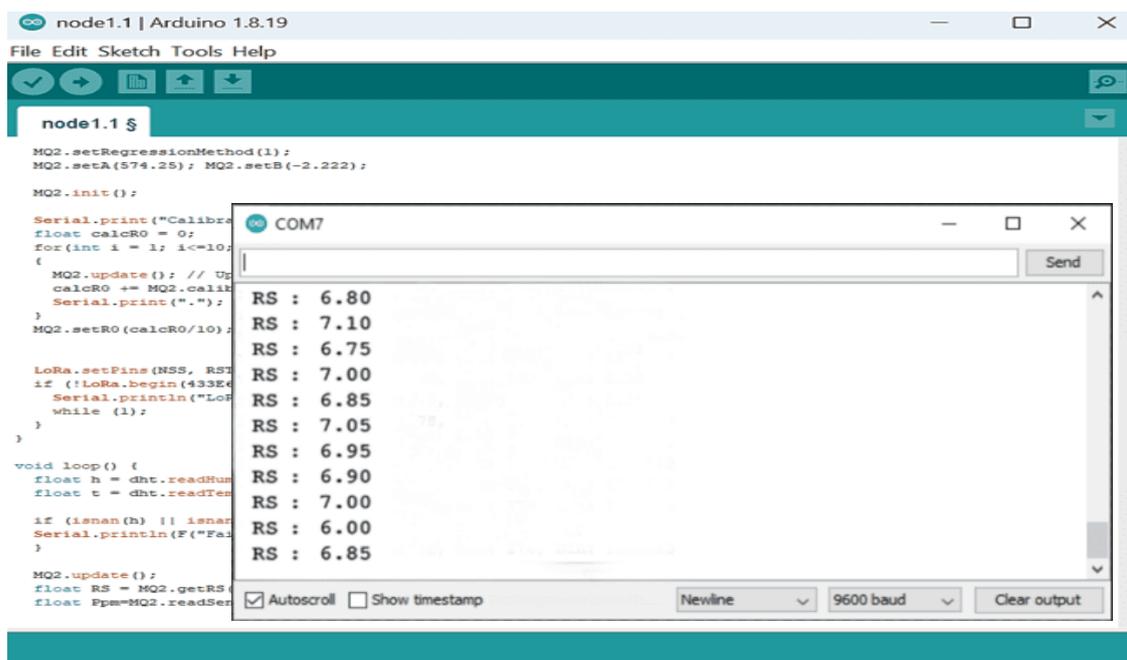
$$R_S = R_L \times V_{out} (V_{in} - V_{out}) \quad [3]$$

dengan $R_L = 10 \text{ k}\Omega$, $V_{in} = 5 \text{ V}$. R_0 diperoleh dari rata-rata 10 kali pengukuran R_S . Konsentrasi gas (ppm) kemudian dihitung

menggunakan persamaan regresi logaritmik berbasis kurva karakteristik *datasheet* untuk LPG:

$$PPM = a \times (R_0/R_s)^b \quad [4]$$

Nilai konstanta $a = 574.25$ dan $b = -2.222$ ini didapat dari interpolasi pada kurva *log datasheet* [17]. Kalibrasi dilakukan dengan mengambil 10 kali pembacaan R_s dari sensor MQ2 di udara bersih. Setiap pembacaan digunakan untuk menghitung nilai R_0 dan hasilnya dirata-ratakan.



Gambar 14. Kalibrasi Sensor MQ2

Berikut adalah hasil pembacaan nilai R_s dan perhitungan R_0 berdasarkan udara bersih ($Ratio = 9.83$):

Tabel 2. Hasil Pembacaan Nilai R_s dan Perhitungan R_0

Iterasi	RS (Ω)	R0 (Ω) = RS / 9.83
1	6.8	0.69
2	7.1	0.72
3	6.75	0.69
4	7	0.71
5	6.85	0.7
6	7.05	0.72
7	6.95	0.71
8	6.9	0.7
9	7	0.71
10	6.85	0.7
Rata-rata		0.705

Dari hasil pengujian didapatkan nilai R_0 rata-rata sebesar 0.705Ω , yang kemudian digunakan sebagai referensi dalam proses perhitungan konsentrasi gas pada tahap deteksi. Proses kalibrasi ini dilakukan dalam kondisi lingkungan terbuka dan tidak terdapat sumber gas mudah terbakar yang dapat mempengaruhi nilai R_s . Nilai R_0 yang stabil menunjukkan bahwa sensor MQ2 telah berfungsi dengan baik dan siap digunakan.

4.2.2. Pengujian Sensor Suhu dan Gas

Sensor DHT22 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan, sedangkan MQ-2 untuk mendeteksi gas mudah terbakar dan asap. Pengujian dilakukan pada tiga *transmitter node* di lokasi berbeda berdasarkan jarak, yaitu ± 150 m, ± 250 m, dan ± 350 m dari *receiver*, untuk mengevaluasi kinerja sensor dan stabilitas komunikasi sistem.

Table 3. Hasil Pengujian Sensor *Transmitter Node 1*

Waktu Notifikasi	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Nilai Gas (ppm)	Ambang Suhu (40°C)	Ambang Gas (300 ppm)	Notifikasi Terkirim	Buzzer Aktif
16:08:59	30.2	53.3	3.99	Tidak	Tidak	Ya	Tidak
16:09:42	29.9	54.6	708	Tidak	Terlampau	Ya	Ya
16:12:07	29.5	55.1	2.12	Tidak	Tidak	Ya	Tidak
16:12:23	29.5	53.8	1426	Tidak	Terlampau	Ya	Ya
16:15:18	39.6	49.8	1.15	Tidak	Tidak	Ya	Tidak
16:15:25	42.8	41.0	1.15	Terlampau	Tidak	Ya	Ya
16:15:50	44.0	33.4	3913	Terlampau	Terlampau	Ya	Ya
16:21:37	35.4	42.5	1.91	Tidak	Tidak	Ya	Tidak

Hasil pembacaan node 1 (jarak ±150 m): menunjukkan bahwa saat suhu di bawah 40 °C dan gas rendah, *buzzer* tidak aktif, seperti pada pukul 16:08:59 dan 16:12:07. Ketika gas melebihi 300 ppm, *buzzer* aktif meski suhu belum melampaui ambang, contohnya pukul 16:09:42 dan 16:12:23. Kondisi paling kritis terjadi pada pukul 16:15:50 dengan suhu 44 °C

dan gas 3913 ppm, memicu *buzzer* dan notifikasi Telegram bersamaan. Setelah kondisi normal, sistem mengirim notifikasi bahwa api padam. Hal ini membuktikan logika sistem dapat merespons masing-masing parameter secara terpisah.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sensor *Transmitter Node 2*

Waktu Notifikasi	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Nilai Gas (ppm)	Ambang Suhu (40°C)	Ambang Gas (300 ppm)	Notifikasi Terkirim	Buzzer Aktif
16:08:59	30.1	61.0	10.25	Tidak	Tidak	Ya	Tidak
16:12:07	33.4	57.0	1.97	Tidak	Tidak	Ya	Tidak
16:15:18	45.7	41.3	1.15	Terlampau	Tidak	Ya	Ya
16:17:54	40.3	48.8	1.34	Terlampau	Terlampau	Ya	Ya
16:19:50	40.9	45.6	1.91	Terlampau	Terlampau	Ya	Ya
16:21:37	43.1	39.5	2.07	Terlampau	Tidak	Ya	Ya
16:22:36	39.1	43.8	2393	Tidak	Terlampau	Ya	Ya
16:22:55	43.3	43.1	8.28	Terlampau	Tidak	Ya	Ya
16:35:53	39.1	47.2	2.03	Tidak	Tidak	Ya	Tidak

Pengujian dari tabel 4 suhu melebihi ambang batas 40°C dari pukul 16:14:59 hingga 16:21:37, sehingga notifikasi dan *buzzer* aktif meskipun nilai gas masih rendah. Suhu tertinggi tercatat 45,7°C pada pukul 16:15:18. Setelahnya, nilai gas mencapai puncaknya sebesar 2393 ppm pada pukul 16:22:36,

memicu alarm meskipun suhu sudah turun. Kondisi normal terjadi saat suhu dan gas di bawah ambang batas, seperti pada pukul 16:08:59 dan 16:35:53. Sistem merespons secara otomatis dan mengirim notifikasi Telegram ketika api padam.

Tabel 5. Hasil Pengujian Sensor Transmitter Node 3

Waktu Notifikasi	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Nilai Gas (ppm)	Ambang Suhu (40°C)	Ambang Gas (300 ppm)	Notifikasi Terkirim	Buzzer Aktif
16:08:59	30.4	54.8	4.86	Tidak	Tidak	Ya	Tidak
16:09:50	30.0	55.2	798.2	Tidak	Terlampau	Ya	Ya
16:12:07	29.4	57.4	15.77	Tidak	Tidak	Ya	Tidak
16:12:28	29.3	58.4	22204	Tidak	Terlampau	Ya	Ya
16:16:18	46.8	34.6	16.43	Terlampau	Tidak	Ya	Ya
16:18:09	41.6	43.6	11.27	Terlampau	Tidak	Ya	Ya
16:22:55	37.4	41.6	19786	Tidak	Terlampau	Ya	Ya
16:24:53	34.2	48.3	10.58	Tidak	Tidak	Ya	Tidak
16:33:44	44.8	45.5	13.8	Terlampau	Tidak	Ya	Ya
16:38:59	35.0	48.8	9.28	Tidak	Tidak	Ya	Tidak

Berdasarkan tabel 5 menunjukkan node 3 (jarak ±350 m): Meskipun kondisi medan menantang, sistem tetap mendeteksi kenaikan suhu dan gas dengan akurat. Aktivasi alarm sesuai logika ambang batas menunjukkan sistem bekerja stabil. Notifikasi dan *buzzer* aktif saat suhu $\geq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ atau gas $\geq 300\text{ ppm}$, seperti pada pukul 16:09:50 dan 16:16:18, sedangkan saat parameter normal (16:08:59 dan 16:12:07) hanya notifikasi yang dikirim. Fluktuasi suhu dan kelembapan tidak memengaruhi kestabilan sistem, dan aktivasi alarm sesuai data membuktikan logika berjalan dengan benar. Saat kondisi normal kembali, sistem otomatis mengirim notifikasi bahwa api telah padam

4.2.3. Antarmuka Notifikasi Telegram

Sistem deteksi dini kebakaran yang dikembangkan dalam penelitian ini menggunakan Telegram sebagai media pengiriman notifikasi *real time* kepada pengguna atau petugas lapangan. Telegram dipilih karena mendukung komunikasi berbasis API yang ringan, cepat, dan dapat diakses di berbagai perangkat. Saat kondisi kritis terdeteksi yaitu suhu melebihi ambang batas dan keberadaan asap terdeteksi sistem secara otomatis mengirimkan pesan ke grup atau akun petugas yang telah terdaftar. Notifikasi yang diterima oleh pengguna melalui Telegram tampil dalam format sebagai berikut.



Gambar 15. Notifikasi Telegram

4.3. Kualitas Layanan (Quality of Service/QoS)

Pengujian QoS dilakukan untuk menilai kinerja sistem dalam mengirimkan data peringatan dini secara *real time* [18]. Parameter yang diukur meliputi *delay*, *jitter*,

throughput, dan packet loss, menggunakan Wireshark pada gateway. Pengujian dilakukan dari tiga node sensor pada jarak berbeda: 150 m, 250 m, dan 350 m.

Tabel 6. Hasil Pengujian (*Quality of Service/QoS*)

Node	Rata-rata Delay (ms)	Rata-rata Jitter (ms)	Throughput (kbps)	Packet Loss
Node 1	397,85	384,24	1,65	0%
Node 2	408,85	317,46	3,38	0%
Node 3	484,39	331,96	3,07	0%

Hasil pengukuran menunjukkan:

- Delay seluruh node berada di bawah 500 ms, masih sesuai untuk notifikasi real time.
- Jitter berada di kisaran 317–384 ms, menunjukkan variasi antar paket stabil.
- Throughput berkisar 1,65–3,38 kbps, cukup untuk data ringan seperti nilai sensor.
- Packet loss 0% pada semua node, menandakan transmisi stabil dan andal.

Dengan hasil ini, sistem dinilai layak digunakan untuk peringatan dini kebakaran hutan karena mampu mengirimkan data cepat, stabil, dan tanpa kehilangan paket

5. KESIMPULAN

- Sistem peringatan dini kebakaran hutan berbasis *Wireless Sensor Network* (WSN) dengan komunikasi *LoRaWAN* dan notifikasi Telegram berhasil diimplementasikan secara fungsional. Komponen perangkat keras seperti sensor suhu DHT22, sensor gas MQ-2, mikrokontroler ESP32, dan modul *LoRa* dapat bekerja terpadu sesuai rancangan.
- Sistem mendeteksi kondisi kritis berdasarkan ambang suhu 40°C dan konsentrasi gas 300 ppm. Sensor DHT22 memiliki akurasi baik dengan rata-rata selisih 0,39°C untuk suhu dan 0,48% untuk kelembapan setelah kalibrasi. Sensor MQ-2 memiliki nilai R_0 rata-rata 0,705 Ω yang digunakan untuk perhitungan konsentrasi gas. Saat ambang terlampaui, buzzer aktif dan notifikasi real time terkirim ke

Telegram, sehingga respons lapangan dapat dilakukan lebih cepat.

- Hasil pengukuran *Quality of Service* menunjukkan seluruh node memiliki delay rata-rata di bawah 500 ms, jitter stabil, throughput memadai, dan packet loss 0%. Hal ini membuktikan jaringan mampu mengirimkan data secara cepat, stabil, dan andal untuk mendukung peringatan dini kebakaran hutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PanturaPost.com, "Kebakaran 2 Hektare Hutan di Guci Tegal Padam, Penyebabnya Diduga karena Putung Rokok," 19 Agustus 2024. [Online].
- [2] R. D. & W. I. R. Prasetia, "Perancangan IoT Monitoring Lingkungan Berbasis Wireless Sensor Network (WSN) Dengan Menerapkan Multi Sensor Network (MSN)," *Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika*, vol. 10, no. 1, pp. 652-666, 2025.
- [3] S. A. A. R. M. M. & R. H. Wahjuni, "Analisis Kinerja Komunikasi Data Berbasis LoRa pada IoT untuk Pemantauan Lingkungan Kandang Ayam," *Jurnal Ilmu Komputer dan Agri-Informatika*, vol. 11, no. 2, pp. 195-204, 2024.
- [4] F. & R. J. Fatayat, "Model Sistem Deteksi Dini Kebakaran Hutan Dan Lahan (Karhutla) Berbasis Android Di Kabupaten Pelalawan," *Simtika*, vol. 3, no. 3, pp. 19-25, 2020.
- [5] M. K. L. M. & S. S. A. Ramadhan, "OTOMATISASI SISTEM untuk PEMANTAU dan PENYIRAM 3 TANAMAN BERBEDA BERBASIS IOT," *In Prosiding Seminar SeNTIK*, vol. 7, no. 1, pp. 375-383, 2023.
- [6] O. C. Ayu Lestari, "Sistem Otomasi Pensortiran Barang berbasis Arduino Uno," *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)*, vol. 7, no. 1, pp. 27-36, 2021.
- [7] E. R. S. F. N. R. F. H. Annisa Fitri Lestari1, "Prototype Sistem Pendeteksi Longsor Berbasis Internet of Things Menggunakan Komunikasi Long Range (LoRa)," *Spektral*, vol. 5, no. 2, pp. 261-266, 2024.
- [8] K. Diantoro, "Implementasi Sensor MQ 4 dan Sensor DHT 22 pada Sistem Kompos Pintar Berbasis IoT (SIKOMPI)," *Electrician: Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 14, no. 3, pp. 84-94, 2020.
- [9] D. I. P. Delvia Oktaviani, "Sistem Pendeteksi Kebocoran LPG dan Api

- Melalui Notifikasi Telegram," *Informatics for Educators and Professional: Journal of Informatics*, vol. 6, no. 2, pp. 186-196, 2022.
- [10] P. A. M. R. Hidayat, "Implementasi Notifikasi Telegram pada Sistem Monitoring Suhu Berbasis IoT," *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, vol. 10, no. 1, pp. 45-52, 2021.
- [11] W. A. O. I. M. S. Yosi Apriani, "Design and Implementation of LoRa-Based Forest Fire Monitoring System," *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 3, no. 3, pp. 236-243, 2022.
- [12] T. A. D. K. N. R. Athallah Rafi Andro Mulyawan, "Perancangan jaringan lora untuk mendukung monitoring sensor di kawasan industri ngoro, Mojokerto," *eProceedings of Engineering*, vol. 12, no. 2, pp. 1-8, 2025.
- [13] A. R. A. Wibowo, "Analisis Jangkauan Komunikasi LoRa untuk Implementasi IoT pada Sistem Monitoring Lingkungan," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 10, no. 1, pp. 45-52, 2022.
- [14] H. Z. A. U. A. F. Muhammad Rizky, "ALAT PENDETEKSI DINI TITIK API KEBAKARAN HUTAN MENGGUNAKAN KOMUNIKASI LORA (LONG RANGE)," *JURNAL MEDIA INFORMATIKA BUDIDARMA*, vol. 8, no. 3, 2024.
- [15] M. Y. U. A. D. Satya Cantika Agustinur, "Kalibrasi Sensor MS1100-P111 sebagai Detektor Gas Formaldehid (HCHO) dan Sensor DHT22 untuk Mendeteksi Kelembaban Relatif dan Temperatur," *Jurnal Kolaboratif Sains*, vol. 7, no. 7, pp. 2245-2257, 2024.
- [16] S. Education, "MQ2 Gas Sensor Tutorial: Measuring Gas Concentration with PictoBlox," [Online]. Available: (<https://ai.thestempedia.com/docs/evive-iot-kit/interfacing-mq-2-gas-sensor-with-evive/>).
- [17] M. Miguel, *MQUnifiedsensor Library Documentation*. GitHub, 2022.
- [18] M. R. W. R. Rachma Nuryani, "Aplikasi Dashboard Kinerja Wireless Local Area Network (WLAN) Menggunakan Metode Quality of Service (QoS)," *Jurnal Kecerdasan Buatan dan Teknologi Informasi*, vol. 3, no. 3, pp. 146-155, 2024.