



Prototipe Sensor Pendeteksi Kebakaran Hutan Berbasis Transmisi LoRa dan Solar Panel

Beltsazaran ^{1*}, Danang Danang ², Iman Saufik Suasana ³, Dani Sasmoko ⁴, Toni Wijanarko Adi Putra ⁵

1 Universitas Sains dan Teknologi Komputer; Semarang, Jawa Tengah; e-mail : sazaranbelt@gmail.com

2 Universitas Sains dan Teknologi Komputer; Semarang, Jawa Tengah; e-mail : danang@gmail.com

3 Universitas Sains dan Teknologi Komputer; Semarang, Jawa Tengah; e-mail : iman@stekom.ac.id

4 Universitas Sains dan Teknologi Komputer; Semarang, Jawa Tengah; e-mail : dani@stekom.ac.id

5 Universitas Sains dan Teknologi Komputer; Semarang, Jawa Tengah; e-mail : t.wijanarko@gmail.com

* Corresponding Author : Beltsazaran

Abstract: Forest fires are a frequent disaster in Indonesia, especially during the dry season, which has serious impacts on ecosystems, public health, and economic conditions. This research aims to design a prototype Internet of Things (IoT)-based forest fire early detection system supported by LoRa transmission technology and Thingspeak cloud storage platform. The system uses DHT22 sensors to measure temperature and humidity, MQ-2 sensors to detect the presence of gas and smoke, and solar panels as the main power source to support energy efficiency in the field. LoRa was chosen as the communication medium due to its ability to transmit data over long distances with low power consumption. Data read by the sensors is regularly sent to ThingSpeak and displayed graphically with an average transmission delay of 15 seconds. Tests have shown that the system is able to accurately recognize potential fires and send out early warnings quickly. In this way, the system can be an efficient and energy-saving solution for remote forest areas. Overall, this prototype has successfully demonstrated its potential as a reliable and innovative forest fire mitigation tool.

Keywords: LoRa; Esp32; Thingspeak; Dht22; Mq2; Forest fire, solar panel

Abstrak: Kebakaran hutan merupakan bencana yang kerap melanda Indonesia, khususnya saat musim kemarau, dan memberikan dampak serius terhadap ekosistem, kesehatan masyarakat, serta kondisi ekonomi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang prototipe sistem deteksi dini kebakaran hutan berbasis Internet of Things (IoT) dengan dukungan teknologi transmisi LoRa dan platform penyimpanan cloud ThingSpeak. Sistem ini menggunakan sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan, sensor MQ-2 untuk mendeteksi keberadaan gas dan asap, serta panel surya sebagai sumber daya utama guna menunjang efisiensi energi di lapangan. LoRa dipilih sebagai media komunikasi karena kemampuannya dalam mentransmisikan data jarak jauh dengan konsumsi daya rendah. Data hasil pembacaan sensor dikirim secara berkala ke ThingSpeak dan ditampilkan dalam bentuk grafik dengan jeda pengiriman rata-rata 15 detik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengidentifikasi potensi kebakaran secara akurat dan mengirimkan peringatan dini dengan cepat. Dengan pendekatan ini, sistem dapat menjadi solusi yang efisien, hemat energi, dan dapat diimplementasikan di wilayah hutan terpencil. Kesimpulannya, prototipe ini berhasil menunjukkan potensi sebagai alat mitigasi kebakaran hutan yang andal dan inovatif.

Kata kunci: LoRa; Esp32; Thingspeak; Dht22; Mq2; Kebakaran Hutan, Panel Surya

Received: 18 April 2025

Revised: 2 May 2025

Accepted: 13 June 2025

Published: 1 Juli 2025

Curr. Ver.: 1 Juli 2025



Copyright: © 2025 by the authors.

Submitted for possible open access publication under the terms

and conditions of the Creative

Commons Attribution (CC BY

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

1. Pendahuluan

Kebakaran hutan dan lahan (karhutla) merupakan bencana lingkungan yang berdampak luas, tidak hanya merusak ekosistem tetapi juga memengaruhi kesehatan masyarakat, perekonomian, dan habitat satwa liar. Menurut Hero Saharjo dan Yulia Eka Nurjanah (2021), kebakaran hutan (karhutla) adalah penjaralan api tak terkendali di area yang memanfaatkan bahan bakar alami seperti serasah, dedaunan, ranting, hingga pohon[1]. Di Indonesia, fenomena ini sering kali dipicu oleh aktivitas manusia, termasuk pembukaan lahan dengan api, kelalaian, serta kondisi cuaca ekstrem seperti musim kemarau panjang.

Seiring meningkatnya ancaman kebakaran hutan, dibutuhkan sistem monitoring berbasis IoT yang mampu mendeteksi potensi kebakaran sejak dini dan memberikan peringatan secara real-time. Sistem ini diharapkan mampu memantau beberapa parameter penting seperti suhu, kelembapan, dan kadar udara atau asap, serta mampu mentransmisikan data dari wilayah hutan yang di pantau dari pos pemantauan, meskipun berada di lokasi terpencil yang minim jaringan internet.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem deteksi kebakaran hutan berbasis IoT dengan teknologi yang lebih efisien. Sistem ini memanfaatkan sensor suhu dan kelembapan DHT22, sensor asap MQ-2, dan komponen panel surya sebagai suplay catu daya system. Data dari sensor ini nantinya dikirim melalui modul komunikasi LoRa, memungkinkan pengiriman data jarak jauh dengan konsumsi daya rendah. Selain itu, sistem didukung oleh panel surya sebagai sumber energi mandiri, sehingga dapat beroperasi secara optimal di area tanpa pasokan listrik konvensional. Dengan inovasi ini, diharapkan sistem mampu memberikan deteksi dini kebakaran hutan secara efisien dan efektif, serta mendukung upaya mitigasi bencana kebakaran hutan.

2. Kajian Pustaka atau Penelitian Terkait

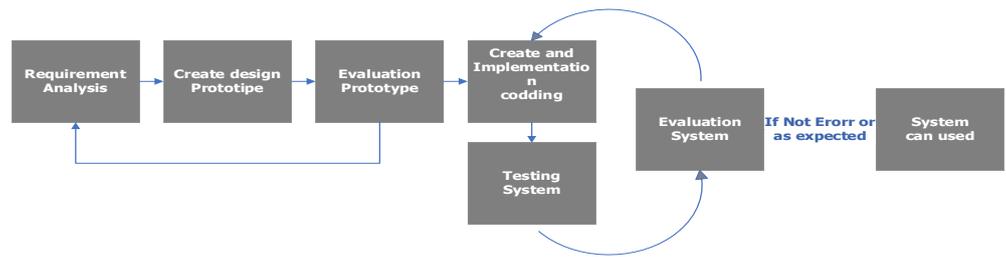
Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan sistem deteksi kebakaran hutan IoT. Pada penelitian yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Kebakaran Hutan berbasis NodeMCU ESP8266” mengembangkan system penteksi kebakaran berbasis NodeMCU ESP8266 dengan sensor suhu, asap, dan api yang nantinya dapat mengirimkan notifikasi melalui aplikasi Telegram[2]. Pada penelitian dengan judul “Sistem Monitoring Kebakaran Hutan berbasis Internet of Things” mengusulkan sistem monitoring kebakaran hutan berbasis IoT dengan tingkat akurasi yang tinggi, memanfaatkan sensor suhu, kelembapan udara, dan kecepatan angin[3].

Selain itu, penelitian selanjutnya berjudul “Alat Pendeteksi Kebakaran Dini Berbasis Internet of Things menggunakan NodeMCU dan Telegram” mengembangkan sistem deteksi kebakaran dini menggunakan NodeMCU dengan WiFi ESP8266 yang didukung dua sensor api yaitu LM393 dan KY-026 yang nantinya indicator dikirimkan ke Telegram dengan jangkauan pengiriman hingga 50 cm[4].

Meskipun penelitian-penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan sistem deteksi kebakaran hutan, masih terdapat tantangan dalam hal konsumsi daya, keandalan sistem di lokasi terpencil, dan jangkauan komunikasi. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan sistem deteksi kebakaran hutan berbasis IoT dengan komunikasi LoRa dan dukungan panel surya, yang dirancang untuk beroperasi secara mandiri dan efisien di area hutan yang sulit dijangkau

2.1. Jenis dan Pendekatan Penelitian

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan metode System Development Life Cycle (SDLC) dengan pendekatan model prototyping[5]. Metode ini dipilih karena mampu menggambarkan tahapan pengembangan sistem secara iteratif, mulai dari analisis kebutuhan hingga implementasi dan evaluasi sistem. Model prototyping memungkinkan peneliti melakukan perbaikan berulang berdasarkan hasil evaluasi hingga sistem dapat digunakan sesuai harapan. Tahapan-tahapan dalam model ini digambarkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Flowchart Pendekatan Penelitian

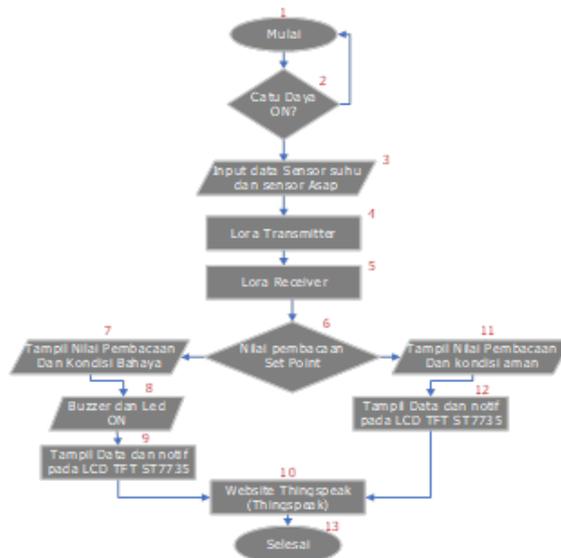
Penelitian pada tahap pertama peneliti melakukan analisis pada masalah yang ada, mencari beberapa sumber data terkait dengan permasalahan tersebut serta menganalisa kebutuhan yang diperlukan pada penelitian ini. Pada tahap kedua peneliti mulai merancang desain produk berupa prototype sesuai dengan Analisa permasalahan yang sudah ditentukan. Pada tahap ketiga peneliti melakukan beberapa evaluasi tahap pertama mengenai desain prototype, jika desain prototype tersebut sesuai harapan maka lanjut pada tahap selanjutnya, namun jika desain prototype terlihat belum sesuai harapan maka kembali masuk ke tahap dua.

Pada tahap keempat ini, peneliti mulai merancang code yang sesuai dengan yang diharapkan oleh peneliti, serta code tersebut dapat langsung di implementasikan pada system yang sudah dirancang sebelumnya. Pada tahap kelima peneliti mulai melakukan uji coba system. Pada tahap keenam peneliti melakukan evaluasi kedua, apakah system sudah berjalan sesuai yang diharapkan atau ada beberapa perubahan. Jika pada tahap keenam ini tidak ada evaluasi maka masuk tahap ke tujuh yaitu system mampu digunakan sesuai dengan yang sudah dibuat

2.2. Flowchart Sistem

Flowchart system ini menggambarkan alur kerja dari system yang dikembangkan, baik dari sisi transmitter maupun receiver. Proses dimulai dari inialisasi system saat catu daya diaktifkan, kemudian dilanjutkan dengan pembacaan data sensor atau input data oleh sensor suhu dan asap, data yang dihasilkan oleh sensor dikirimkan oleh node transmitter dan diterima oleh node receiver

Pada sisi receiver, data yang diterima selanjutnya melalui proses evaluasi berdasarkan nilai ambang batas (set point) yang telah ditentukan. Jika nilai pembacaan data yang diproses melebihi batas aman, maka system menunjukkan kondisi bahaya dan akan mengaktifkan komponen buzzer dan led sebagai indicator kondisi bahaya. Selain itu, data juga ditampilkan pada layar LCD TFT dan dikirimkan ke server Thingspeak untuk penyimpanan data. Sebaliknya, jika nilai pembacaan data masih berada dalam batas aman, data hanya akan ditampilkan pada LCD TFT dan tetap disimpan di server Thingspeak.

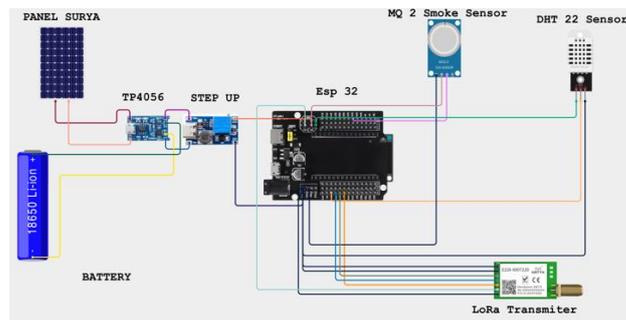


Gambar 2. Flowchart Alur Sistem

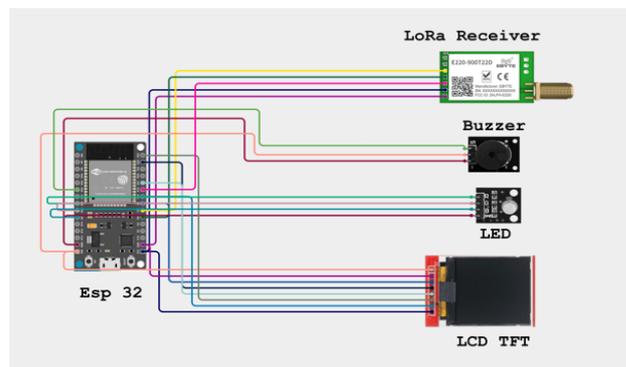
2.3. Desain Alur Sistem

Sistem ini dirancang sebagai pemantauan kondisi area hutan yang rawan terjadi kebakaran secara real-time melalui pemanfaatan teknologi Internet of Things (IoT) didukung dengan transmisi data menggunakan komunikasi LoRa. Sistem ini nantinya terdiri dari tiga unit, yaitu dua node transmitter dan satu node receiver.

Masing-masing unit mempunyai peran, node transmitter bekerja untuk membaca data dari sensor DHT22 yaitu data suhu dan kelembapan, serta sensor MQ-2 sebagai data kadar udara atau asap. Data yang diperoleh tersebut dikirimkan secara nirkabel melalui modul LoRa ke node receiver. Node receiver bertugas menerima data dari kedua transmiiter, kemudian menampilkannya ke layar LCD TFT dan node receiver juga terhubung ke web server Thing-speak.



Gambar 3. Perancangan Sistem LoRa Pengirim



Gambar 4. Perancangan Sistem LoRa Penerima

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Perancangan alat

Hasil dari perancangan sistem deteksi kebakaran ini menghasilkan tiga unit perangkat yang terdiri dari dua node transmitter dan satu node receiver. Setiap node transmitter dilengkapi dengan sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan, serta sensor MQ-2 untuk mendeteksi kadar asap di lingkungan sekitarnya. Dikarenakan node transmitter ini akan ditempatkan di area hutan yang minim pasokan listrik, sistem ini nantinya juga dilengkapi dengan panel surya sebagai sumber daya utama untuk menjaga alat tetap beroperasi secara mandiri. Untuk menggambarkan hasil perancangan secara menyeluruh, ditampilkan dua jenis visualisasi, dan realisasi fisik alat.

3.2 Pengujian Sistem Pendeteksi Kebakaran

Pada bagian pengujian system ini nantinya dilakukan untuk memastikan seluruh komponen dari sisi node transmitter dan node receiver bekerja dengan baik, serta system mampu mendeteksi kebakaran secara dini dan mengirimkan data secara realtime. Pengujian ini nantinya dilakukan dalam beberapa aspek, antara lain :

3.2.1 Pengujian Sensor Pendeteksi Kebakaran

Pada sistem ini pengujian sensor dibagi menjadi dua sensor yaitu sensor DHT22 dan sensor MQ2, dilakukan untuk mengetahui sistem receiver ketika kondisi data sensor yang diterima dalam kondisi normal dan kondisi saat terjadi lonjakan data. Dalam proses ini, sistem diberikan dua nilai setpoint atau dua kondisi untuk suhu, kelembapan, dan kadar udara. Nilai setpoint DHT22 untuk temperature adalah $<35^{\circ}$ menunjukkan kondisi warning dan $<40^{\circ}$ menunjukkan kondisi bahaya, untuk humidity adalah $<70^{\circ}$ menunjukkan kondisi warning dan $<80^{\circ}$ menunjukkan kondisi bahaya. Pada nilai setpoint MQ2 untuk kadar udara adalah $<35^{\circ}$ menunjukkan kondisi warning dan $<70^{\circ}$ menunjukkan kondisi bahaya

Pada kondisi warning dan bahaya memiliki notif yang berbeda, jika salah satu node mengirimkan data dari sensor dalam kondisi warning maka buzzer akan berbunyi empat kali beep selama 200ms dengan jeda pengulangan selama 2 detik dan untuk lampu led akan berubah warna kuning. Pada kondisi bahaya maka buzzer berbunyi terus-menerus selama 500ms dan untuk lampu led akan berubah warna merah. Hasil pada pengujian sensor dapat dilihat pada table dibawah ini.

Tabel 1. Tabel Pengujian Sensor Pendeteksi Kebakaran

Kondisi	Suhu	Kelembapan	Kadar Asap	Kondisi Asap	Buzzer	Led
Aman	33.50°	68.40°	6.76°	Rendah	Off	Off
Peringatan	35.70°	64.90°	4.69°	Rendah	On	On
Bahaya	33.60°	68.70°	100.00°	Tinggi	On	On
Bahaya	33.60°	68.70°	97.83°	Tinggi	On	On
peringatan	33.70°	68.70°	39.22°	Sedang	On	On
Aman	33.70°	68.70°	27.74°	Rendah	Off	Off

```

Received: ID:2, Suhu:33.50, Kelembapan:68.60, KadarAsap:6.69, Status:AMAN
Received: ID:1, Suhu:35.50, Kelembapan:64.80, KadarAsap:4.93, Status:PERINGATAN
Received: ID:2, Suhu:33.50, Kelembapan:68.40, KadarAsap:6.81, Status:AMAN
Received: ID:1, Suhu:35.30, Kelembapan:65.00, KadarAsap:4.79, Status:PERINGATAN
ThingSpeak update successful
Received: ID:1, Suhu:33.60, Kelembapan:68.70, KadarAsap:100.00, Status:BAHAYA
Received: ID:2, Suhu:33.60, Kelembapan:68.70, KadarAsap:21.44, Status:AMAN
Received: ID:1, Suhu:33.60, Kelembapan:69.00, KadarAsap:97.83, Status:BAHAYA
ThingSpeak update successful
Received: ID:2, Suhu:33.60, Kelembapan:68.70, KadarAsap:59.98, Status:PERINGATAN
Received: ID:1, Suhu:33.60, Kelembapan:69.10, KadarAsap:56.65, Status:PERINGATAN
Received: ID:2, Suhu:33.60, Kelembapan:68.80, KadarAsap:56.83, Status:PERINGATAN
Received: ID:1, Suhu:33.60, Kelembapan:69.00, KadarAsap:38.93, Status:PERINGATAN
Received: ID:2, Suhu:33.70, Kelembapan:68.70, KadarAsap:48.42, Status:PERINGATAN
Received: ID:1, Suhu:33.60, Kelembapan:69.20, KadarAsap:35.58, Status:PERINGATAN
Received: ID:2, Suhu:33.70, Kelembapan:68.70, KadarAsap:39.22, Status:PERINGATAN
ThingSpeak update successful
Received: ID:2, Suhu:33.70, Kelembapan:68.70, KadarAsap:27.74, Status:AMAN
Received: ID:2, Suhu:33.70, Kelembapan:68.50, KadarAsap:25.25, Status:AMAN
    
```

Gambar 5. Tampilan Hasil Data dari Serial Monitor

3.2.2 Pengujian Pada Database Thingspeak

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan data yang diterima oleh receiver dapat dikirim dan ditampilkan secara akurat di platform ThingSpeak. Parameter yang diuji mencakup kecepatan pengiriman data, keterlambatan tampilan (delay), serta konsistensi data pada dashboard ThingSpeak. Pada pengiriman data ke thingspeak terdapat toleransi delay pengiriman selama 20 detik setiap pengiriman data. Untuk tampilan dashboard thingspeak bisa dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 6. Tampilan Dashboard Website Thingspeak

3.2.3 Pengujian Pada Tampilan LCD TFT

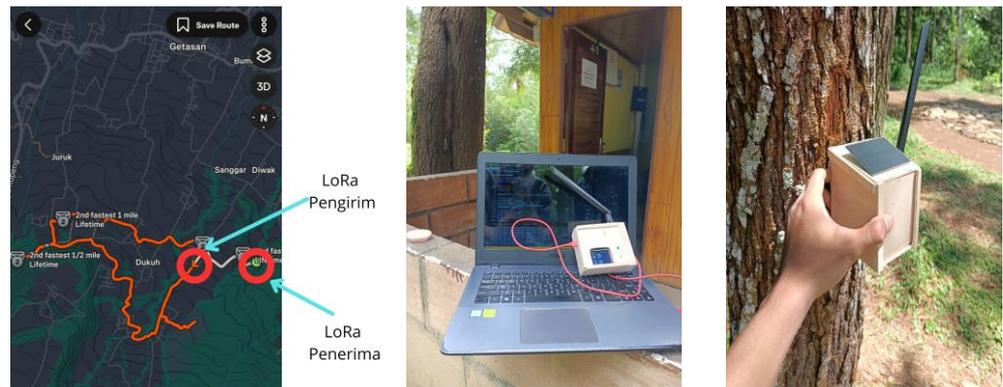
Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa data yang dikirim oleh LoRa pengirim dapat ditampilkan secara akurat dan real-time pada layar LCD TFT yang terpasang di sisi receiver. Tampilan LCD TFT dirancang untuk menampilkan beberapa data penting seperti suhu, kelembapan, kadar asap, dan status kondisi dari masing-masing LoRa pengirim. Pengujian dilakukan dengan cara mengirimkan data secara bertahap dan mencocokkannya dengan hasil pembacaan sensor guna mengevaluasi keakuratan dan keterbacaan data pada layar. Hasil data yang ditampilkan oleh komponen LCD TFT ini memiliki beberapa kondisi yang ditampilkan, dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 7. Tampilan Hasil Data pada LCD TFT

3.2.3 Pengujian Modul Komunikasi LoRa

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui jarak maksimal pengiriman data antara node transmitter dan receiver menggunakan modul LoRa E32-900TD. Pengujian dilakukan di area terbuka di wilayah hutan wisata spekta merbabu, dengan kondisi hutan lebat pohon pinus. Dengan mengatur jarak antara kedua node, sambil mencatat keberhasilan pengiriman data pada setiap titik. Pengujian jarak ini juga menggunakan bantuan aplikasi Strava sebagai pengukur jarak dari LoRa pengirim ke LoRa penerima, data pengujiannya bisa dilihat di gambar dibawah ini



Gambar 8. Pengujian Jarak Pengiriman pada Komunikasi LoRa

Pada gambar diatas meunjukkan hasil yang di dapat dari ujicoba langsung jarak modul komunikasi LoRa pada lingkungan sekitar hutan wisata yang cukup lebat dengan pohon pinus dan jalan yang berkelu. Hasil menunjukan bahwa komunikasi LoRa ini dapat bekerja di sekitar area hutan yang cukup lebat yaitu berjarak kurang dari 1km .

Hasil pengujian komunikasi LoRa dalam penelitian ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan data secara stabil hingga jarak ± 1 km di area hutan lebat, sedangkan pada jarak hingga 2,5 km mulai terjadi penurunan performa. Hal ini sejalan dengan penelitian oleh Irianto (2022), yang menyimpulkan bahwa nilai Packet Delivery Ratio (PDR) menurun drastis menjadi 5%–7% pada jarak 2,5 km, dan LoRa tidak lagi mampu menerima data pada jarak 3 km[6]. Oleh karena itu, baik pada penelitian ini maupun penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa penerapan LoRa paling efektif dilakukan dalam radius kurang dari 1 km untuk menjamin kestabilan transmisi data.

3.2.4 Pengujian Daya Tahan Energi Panel Surya

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja panel surya dalam menyediakan suplai daya yang stabil pada sistem. Pengujian dilakukan di luar ruangan dengan berbagai kondisi cuaca untuk mengetahui durasi operasional sistem dan efisiensi pengisian daya. Karena sistem ini masih dalam tahap prototipe maka nantinya, sistem ini menggunakan modul panel surya 5V 20mA dan baterai lithium-ion Sony VTC7 18650 berkapasitas 3500- mAh sebagai penyimpan daya. Untuk sistem yang terdiri dari ESP32, MQ-2, DHT22, dan modul LoRa, konsumsi daya bisa dihitung sebgai berikut:

ESP32	: 80 mA
MQ2	: 150 mA
DHT22	: 2 mA
LoRa	: 120 mA
Total Arus	: 0,352 A

Dengan energi baterai 12.95 Wh dan daya sistem 1.94 W (dengan step-up MT3608 efisiensi 80%), maka:

$$\text{Daya input dari baterai} = 1.94 / 0.8 \approx 2.42 \text{ W}$$

$$\text{Waktu pemakaian} = 12.95 / 2.42 \approx 5.35 \text{ jam}$$

Berdasarkan perhitungan ini, sistem dapat beroperasi selama kurang lebih 5.35 jam. Namun, durasi ini dapat bervariasi tergantung pada kondisi baterai saat pengoperasian.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, prototipe sensor pendeteksi kebakaran hutan berbasis transmisi LoRa dan solar panel menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi potensi kebakaran secara dini dengan menggunakan sensor DHT22 untuk suhu dan kelembapan serta MQ-2 untuk kadar udara, menghasilkan notifikasi melalui buzzer dan LED sesuai ambang batas yang ditentukan. Pengujian transmisi data menggunakan modul LoRa menunjukkan jangkauan efektif hingga kurang dari 1 km di lingkungan hutan pinus, menjadikannya pilihan tepat untuk komunikasi jarak jauh berdaya rendah di area minim jaringan. Selain itu, sistem juga mampu menampilkan data secara real-time melalui LCD TFT dan mengirimkan serta menyimpan data ke platform cloud Thingspeak dengan rata-rata delay 20 detik. Panel surya yang digunakan sebagai sumber daya utama pada sistem pengirim mampu menopang sistem selama sekitar 5,35 jam, sehingga menjadikan prototipe ini mandiri secara energi dan cocok digunakan di wilayah terpencil. Dengan hasil tersebut, sistem ini berpotensi dikembangkan lebih lanjut, khususnya pada peningkatan kapasitas panel surya dan perluasan jangkauan transmisi, agar dapat diimplementasikan secara optimal di area hutan yang sulit dijangkau manusia.

Daftar Pustaka

- [1] F. Diba, Y. Arbiastutie, and S. U. N. M. Mangurai, "Sosialisasi Pencegahan dan Penanggulangan Kebakaran Hutan pada Anak-Anak di Desa," *Prima Abdika: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, vol. 4, no. 1, pp. 110–117, Mar. 2024, doi: 10.37478/abdika.v4i1.3668.
- [2] I. G. A. Ari Kukuh Sentanu *et al.*, "RANCANG BANGUN SISTEM PENDETEKSI KEBAKARAN HUTAN BERBASIS NODE MCU ESP8266," 2021.
- [3] J. Pebralia, R. Raaiqa Bintana, and I. Amri, "SISTEM MONITORING KEBAKARAN HUTAN BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)," vol. 19, no. 3, 2022, doi: 10.31258/jkfi.19.3.183-189.
- [4] Y. S. Kristama and I. R. Widiyari, "Alat Pendeteksi Kebakaran Dini Berbasis Internet Of Things (IoT) Menggunakan NodeMCU Dan Telegram," *JURNAL MEDIA INFORMATIKA BUDIDARMA*, vol. 6, no. 3, p. 1599, Jul. 2022, doi: 10.30865/mib.v6i3.4445.
- [5] P. Kustanto, R. Bram Khalil, and A. Noe'man, "Penerapan Metode Prototype dalam Perancangan Media Pembelajaran Interaktif," *Journal of Students' Research in Computer Science*, vol. 5, no. 1, pp. 83–94, May 2024, doi: 10.31599/6x0dfz47.
- [6] K. D. Irianto, "Evaluasi dan Analisis Kinerja LoRa Pada Sistem Irigasi Pertanian Berbasis IoT."
- [7] W. K. Raharja and R. Ramadhon, "PURWARUPA ALAT PENDETEKSI KEBAKARAN JARAK JAUH MENGGUNAKAN PLATFORM THINGER.IO PROTOTYPE OF REMOTE FIRE DETECTION USING THE THINGER.IO PLATFORM."
- [8] J. M. S. Waworundeng, "Desain Sistem Deteksi Asap dan Api Berbasis Sensor, Mikrokontroler dan IoT Design of Smoke and Flame Detection Systems Based on Sensors, Microcontrollers and IoT," *Cogito Smart Journal |*, vol. 6, no. 1, 2020.
- [9] M. A. Abdullah, R. Satra, and F. Fattah, "Buletin Sistem Informasi dan Teknologi Islam Prototype Wireless Sensor Network Untuk Mendeteksi Kebakaran Lahan Di Dusun Ka'bung Kabupaten Maros INFORMASI ARTIKEL ABSTRAK," vol. 1, no. 4, p. 1, 2020.
- [10] G. Chandrasekaran, N. S. Kumar, A. Chokkalingam, V. Gowrishankar, N. Priyadarshi, and B. Khan, "IoT enabled smart solar water heater system using real time ThingSpeak IoT platform," *IET Renewable Power Generation*, Jan. 2023, doi: 10.1049/rpg2.12760.
- [11] S. A. Pambudi, I. M. Rahma, B. Artono, Y. Prasetyo, and I. B. Sumafta, "Sistem Monitoring Alat Pendeteksi Dan Pemadam Kebakaran Hutan Bertenaga Solar Cell Berbasis Internet of Things (IoT)," *JEECAE : Journal of Electrical, Electronic, Control and Automotive Engineering*, vol. 8, no. 1, pp. 13–21, 2023, [Online]. Available: <http://journal.pnm.ac.id/>
- [12] Y. Irawan, R. Muzawi, A. Alamsyah, U. Hang Tuah Pekanbaru, and S. Amik Riau, "SISTEM REAL TIME MONITORING PENDETEKSI KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN DI PROVINSI RIAU REAL TIME MONITORING SYSTEM FOR FOREST AND LAND FIRE DETECTION IN RIAU PROVINCE," *Journal of Information Technology and Computer Science (INTECOMS)*, vol. 5, no. 2, 2022.

- [13] Z. Ijra saryendy Ijra and M. Unik, "Pengembangan Sistem Internet Of Things (IOT) dengan LoRa (Long Range) dan Energi Surya untuk Deteksi Otomatis Kebakaran Hutan dan Lahan," *Jurnal CoSciTech (Computer Science and Information Technology)*, vol. 5, no. 2, pp. 340–347, Aug. 2024, doi: 10.37859/coscitech.v5i2.7360.
- [14] E. Murdyantoro, I. Rosyadi, and H. Septian, "STUDI PERFORMANSI JARAK JANGKAUAN LORA OLG01 SEBAGAI INFRASTRUKTUR KONEKTIVITAS NIRKABEL IOT STUDY OF LORA OLG01 DISTANCE PERFORMANCE AS WIRELESS CONNECTIVITY IOT INFRASTRUCTURE." [Online]. Available: <http://dinarek.unsoed.ac.id>
- [15] A. Ariprihata, E. Erfandy, S. W. Susilo, and S. Sujito, "RANCANG BANGUN PANEL SURYA OFF-GRID UNTUK CATU DAYA ALAT PENGUSIR HAMA TIKUS," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 4, no. 3, pp. 224–245, Dec. 2023, doi: 10.14710/jebt.2023.19665.
- [16] J. M. S. Waworundeng, "Desain Sistem Deteksi Asap dan Api Berbasis Sensor, Mikrokontroler dan IoT Design of Smoke and Flame Detection Systems Based on Sensors, Microcontrollers and IoT," *Cogito Smart Journal |*, vol. 6, no. 1, 2020.
- [17] G. Chandrasekaran, N. S. Kumar, A. Chokkalingam, V. Gowrishankar, N. Priyadarshi, and B. Khan, "IoT enabled smart solar water heater system using real time ThingSpeak IoT platform," *IET Renewable Power Generation*, 2023, doi: 10.1049/rpg2.12760.
- [18] J. M. S. Waworundeng, "Desain Sistem Deteksi Asap dan Api Berbasis Sensor, Mikrokontroler dan IoT Design of Smoke and Flame Detection Systems Based on Sensors, Microcontrollers and IoT," *Cogito Smart Journal |*, vol. 6, no. 1, 2020.
- [19] E. Murdyantoro, I. Rosyadi, and H. Septian, "STUDI PERFORMANSI JARAK JANGKAUAN LORA OLG01 SEBAGAI INFRASTRUKTUR KONEKTIVITAS NIRKABEL IOT STUDY OF LORA OLG01 DISTANCE PERFORMANCE AS WIRELESS CONNECTIVITY IOT INFRASTRUCTURE." [Online]. Available: <http://dinarek.unsoed.ac.id>
- [20] Y. Irawan, R. Muzawi, A. Alamsyah, U. Hang Tuah Pekanbaru, and S. Amik Riau, "SISTEM REAL TIME MONITORING PENDETEKSI KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN DI PROVINSI RIAU REAL TIME MONITORING SYSTEM FOR FOREST AND LAND FIRE DETECTION IN RIAU PROVINCE," *Journal of Information Technology and Computer Science (INTECOMS)*, vol. 5, no. 2, 2022.
- [21] M. Nizam, H. Yuana, and Z. Wulansari, "MIKROKONTROLER ESP 32 SEBAGAI ALAT MONITORING PINTU BERBASIS WEB," 2022.