

Rancang Bangun Sistem Pencegahan Dini Kebakaran Lahan Gambut Berbasis IoT

Lintang Artha Panca^{*)1}

¹Teknologi Rekayasa Sistem Elektronika/ Teknik Elektro/ Politeknik Negeri Pontianak.

^{*)}Corresponding author, email: lintangartapanca@gmail.com

Abstrak	INFO.
Penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan berbasis <i>Internet of Things</i> (IoT) untuk deteksi dini potensi kebakaran lahan gambut. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan beberapa sensor, meliputi sensor ultrasonik untuk mengukur tinggi muka air tanah, sensor suhu dan kelembaban untuk memantau kondisi lingkungan, serta sensor partikel untuk mendeteksi kualitas udara. Transmisi data dilakukan menggunakan komunikasi <i>long range</i> (LoRa) sehingga memungkinkan pemantauan pada wilayah gambut terpencil, sedangkan notifikasi disampaikan melalui platform berbasis web dan aplikasi Telegram. Metode penelitian meliputi perancangan sistem, integrasi perangkat keras dan perangkat lunak, serta pengujian kinerja. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pengukuran parameter lingkungan, transmisi data jarak jauh, penyimpanan data, serta memberikan notifikasi peringatan secara <i>real-time</i>. Pemantauan tinggi muka air tanah menunjukkan efektivitasnya sebagai indikator awal potensi kebakaran lahan gambut. Namun, sensor ultrasonik menunjukkan keterbatasan dalam akurasi pengukuran yang memengaruhi keandalan data. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan dapat berfungsi dengan baik dan berpotensi mendukung sistem peringatan dini kebakaran lahan gambut. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan sensor dengan akurasi lebih tinggi serta menambahkan parameter lingkungan lain untuk meningkatkan keandalan sistem.	Info. Artikel: No. 037 Received. June 10, 2026 Revised. July 02, 2026 Accepted. July 22, 2026 Page. 16 - 24 Kata kunci: ✓ Kebakaran lahan gambut ✓ Tinggi muka air tanah ✓ IoT ✓ LoRa ✓ Sistem peringatan dini

Abstract

This study developed an Internet of Things–based monitoring system for early detection of peatland fire potential. The system utilized an ESP32 microcontroller integrated with multiple sensors, including an ultrasonic sensor to measure groundwater level, temperature and humidity sensors to monitor environmental conditions, and a particulate sensor to assess air quality. Data transmission was conducted using Long Range (LoRa) communication to enable monitoring in remote peatland areas, while notifications were delivered through a web-based platform and the Telegram application. The research methodology included system design, hardware and software integration, and performance testing. The results showed that the system was capable of measuring environmental parameters, transmitting data over long distances, storing data, and providing real-time warning notifications. Groundwater level monitoring demonstrated its effectiveness as an early indicator of peatland fire risk. However, the ultrasonic sensor exhibited limitations in measurement accuracy, which affected the reliability of groundwater level data. Overall, the developed system functioned properly and demonstrated potential for supporting early warning systems in peatland fire mitigation. Future work is recommended to utilize more accurate sensors and incorporate additional environmental parameters to improve system reliability.

PENDAHULUAN

Kebakaran lahan gambut merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang sering terjadi di Indonesia, khususnya pada wilayah dengan tingkat kekeringan tinggi saat musim kemarau[1]. Kebakaran pada lahan gambut umumnya sulit dideteksi sejak dini karena api dapat membara di bawah permukaan tanah (*ground fire*) tanpa terlihat secara langsung[2]. Kondisi tersebut menyebabkan proses penanganan sering terlambat sehingga kebakaran meluas dan menimbulkan dampak lingkungan maupun kesehatan akibat meningkatnya polusi udara[3].

Oleh karena itu, diperlukan sistem pemantauan yang mampu mendeteksi kondisi lahan gambut secara *real-time* sebagai langkah pencegahan dini terhadap potensi kebakaran.

Dalam upaya pencegahan kebakaran lahan gambut, tinggi muka air tanah menjadi salah satu indikator penting yang dapat digunakan untuk mengetahui tingkat kerawanan lahan terhadap kebakaran[4]. Semakin rendah tinggi muka air tanah, maka kondisi gambut akan semakin kering dan mudah terbakar. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 57 Tahun 2016, tinggi muka air gambut disarankan tidak melebihi 40 cm dari permukaan tanah guna menjaga fungsi hidrologis gambut[5]. Namun, pemantauan tinggi muka air tanah secara manual dinilai kurang efektif karena membutuhkan pengamatan langsung di lokasi yang luas dan sulit dijangkau.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan peluang dalam pengembangan sistem *monitoring* lingkungan secara otomatis dan jarak jauh[6]. Teknologi IoT memungkinkan proses pengambilan, pengiriman, dan penyimpanan data dilakukan secara *real-time* melalui jaringan komunikasi. Pada penelitian sebelumnya, sistem *monitoring* berbasis IoT telah diterapkan pada berbagai bidang menggunakan sensor lingkungan dan komunikasi nirkabel[7], [8]. Selain itu, teknologi *Long Range* (LoRa) juga banyak digunakan karena mampu mengirim data pada jarak yang cukup jauh dengan konsumsi daya rendah sehingga sesuai diterapkan pada wilayah minim infrastruktur komunikasi[9].

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini merancang sistem pencegahan dini kebakaran lahan gambut berbasis IoT menggunakan NodeMCU ESP32, Arduino Nano, sensor tinggi muka air, sensor suhu dan kelembaban, sensor suhu tanah, serta sensor partikel udara. Sistem menggunakan komunikasi LoRa untuk mengirimkan data dari node pemantauan menuju *gateway*, kemudian data diteruskan ke platform *ThingSpeak* dan notifikasi Telegram untuk *monitoring* jarak jauh. Dengan sistem ini, kondisi lingkungan lahan gambut dapat dipantau secara otomatis tanpa perlu melakukan pengukuran langsung secara terus-menerus di lapangan.

Penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan sistem *monitoring* yang lebih efektif dalam mendukung pencegahan dini kebakaran lahan gambut. Selain mampu melakukan pemantauan tinggi muka air tanah secara *real-time*, sistem juga dapat menyimpan data lingkungan dan memberikan notifikasi kondisi lahan secara otomatis. Nilai baru pada penelitian ini terletak pada integrasi beberapa parameter lingkungan menggunakan komunikasi LoRa dan platform IoT dalam satu sistem *monitoring* yang dirancang untuk wilayah lahan gambut dengan keterbatasan akses jaringan komunikasi[10].

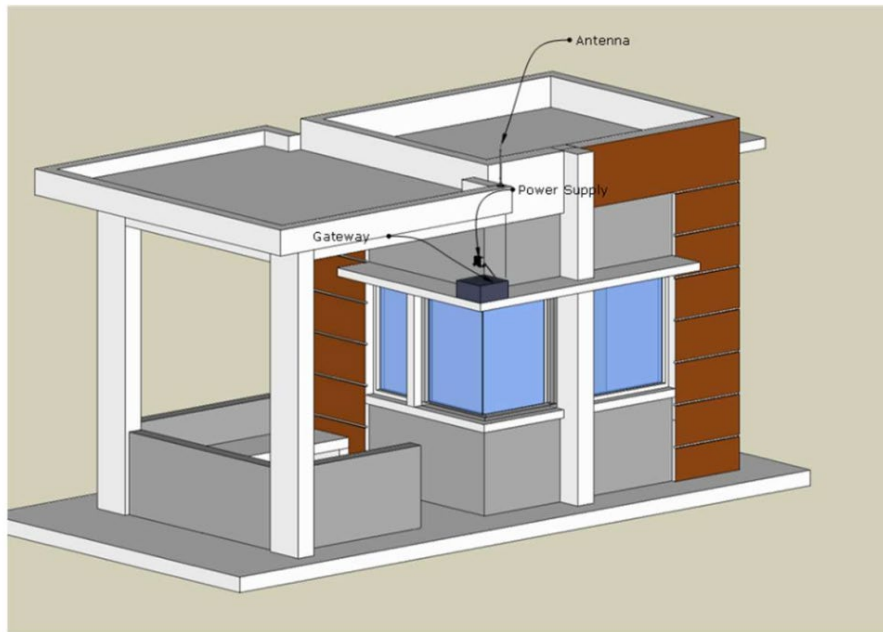
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan melakukan perancangan dan pengujian sistem pencegahan dini kebakaran lahan gambut berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem dirancang untuk melakukan pemantauan kondisi lingkungan secara *real-time* menggunakan beberapa sensor lingkungan dan komunikasi *Long Range* (LoRa). Tahapan penelitian meliputi perancangan prototype, perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, serta pengujian sistem secara keseluruhan.

Rancangan Prototype

Prototype sistem dirancang dalam dua bagian utama, yaitu *gateway* dan node pemantauan. Node ditempatkan pada area lahan gambut untuk melakukan pembacaan parameter lingkungan, sedangkan *gateway* berfungsi menerima data hasil *monitoring* dan meneruskannya ke platform IoT. Sistem dirancang menggunakan sumber daya baterai yang didukung panel surya sehingga dapat digunakan pada wilayah dengan keterbatasan akses listrik.

Gambar 1. merupakan posisi *gateway* pada pos yang selalu aktif untuk mengumpulkan data dari beberapa titik pantau yang berada di lapangan. Kotak panel yang berisikan sistem *gateway* dapat diatur posisinya jika menginginkan berdekatan dengan operator yang bertanggung jawab seperti di meja kerja maupun di ruangnya. Lokasi antena yang dianjurkan adalah di luar ruangan untuk meminimalisir pelemahan kekuatan sinyal akibat dari adanya objek penghalang ke antena.

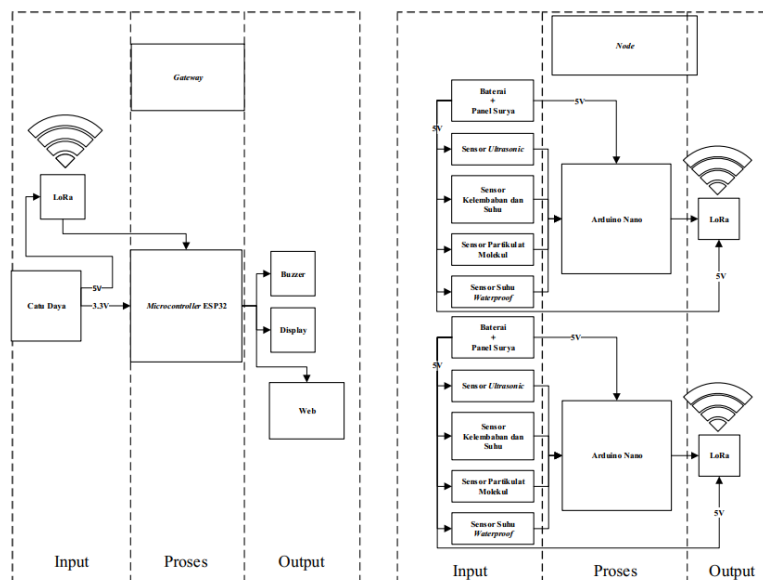


Gambar 1. Posisi Sistem Gateway Pada Pos

Pada bagian node digunakan Arduino Nano yang terhubung dengan sensor A02YYUW untuk mengukur tinggi muka air tanah, sensor DHT22 untuk suhu dan kelembaban udara, sensor DS18B20 untuk suhu tanah, dan sensor ZH03B untuk mendeteksi partikel udara. Data hasil pembacaan sensor dikirimkan menuju *gateway* menggunakan modul LoRa. Pada bagian *gateway* digunakan NodeMCU ESP32 yang terhubung dengan modul LoRa, LCD, RTC, dan *micro SD card*. *Gateway* berfungsi menerima data dari node, menampilkan hasil *monitoring*, menyimpan data, serta mengirimkan informasi ke platform *ThingSpeak* dan notifikasi Telegram.

Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem digunakan untuk menggambarkan hubungan antar komponen pada prototype yang dirancang. Sensor yang berada pada node melakukan pembacaan kondisi lingkungan berupa tinggi muka air tanah, suhu udara, kelembaban udara, suhu tanah, dan partikel udara. Data hasil pembacaan kemudian diproses oleh Arduino Nano dan dikirimkan menggunakan komunikasi LoRa menuju *gateway*.



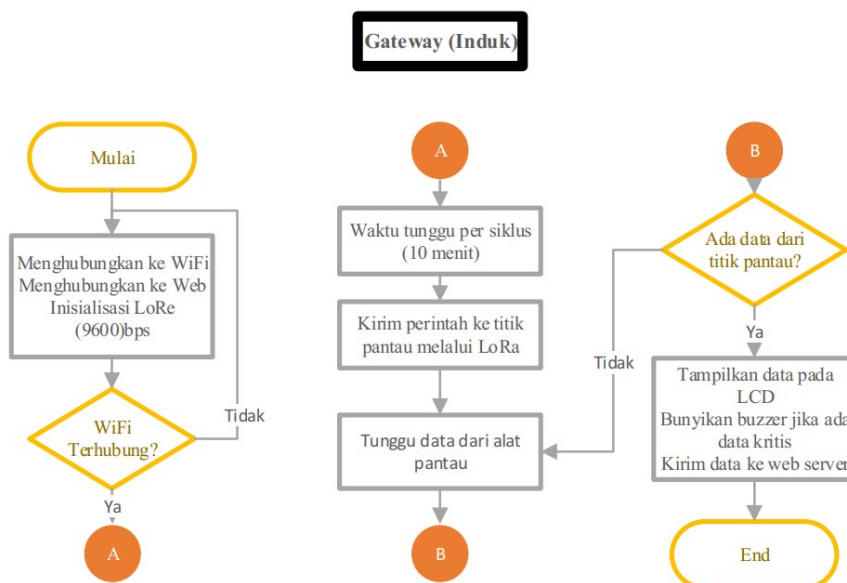
Gambar 2. Diagram Blok Sistem

Dalam Gambar 2. pada sisi *gateway*, NodeMCU ESP32 menerima data dari node kemudian menampilkan hasil *monitoring* pada LCD dan menyimpan data ke *micro SD card*. Selain itu, data juga dikirimkan ke platform *ThingSpeak* sehingga dapat dipantau secara daring. Sistem juga dilengkapi notifikasi Telegram untuk memberikan informasi apabila kondisi lingkungan menunjukkan potensi kebakaran lahan gambut.

Flowchart Sistem

Flowchart sistem menggambarkan alur kerja alat secara keseluruhan. Sistem dimulai dengan proses inisialisasi mikrokontroler, sensor, dan modul komunikasi LoRa. Setelah proses inisialisasi berhasil, sensor akan melakukan pembacaan data lingkungan secara periodik. Data hasil pembacaan kemudian diproses oleh node dan dikirimkan ke *gateway* menggunakan komunikasi LoRa.

Gateway menerima data dari node, kemudian menampilkan data pada LCD dan menyimpan hasil pembacaan pada *micro SD card*. Selanjutnya data dikirimkan ke platform *ThingSpeak* untuk *monitoring* secara *real-time*. Sistem juga akan mengirimkan notifikasi Telegram apabila parameter lingkungan berada pada kondisi tertentu yang berpotensi menyebabkan kebakaran lahan gambut. Proses pembacaan dan pengiriman data dilakukan secara berulang selama sistem aktif.



Gambar 3. Flowchart Alat Gateway

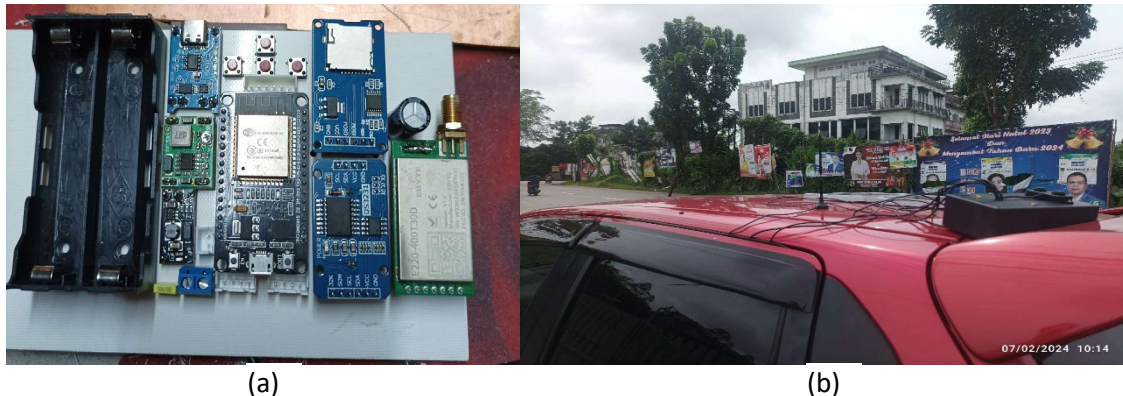
Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan pada setiap modul dan keseluruhan sistem untuk mengetahui performa alat yang dirancang. Pengujian meliputi pengujian komunikasi LoRa pada beberapa jarak, pengujian sensor A02YYUW, DHT22, DS18B20, dan ZH03B, pengujian pengiriman data ke *ThingSpeak*, pengujian notifikasi Telegram, serta pengujian sistem catu daya menggunakan baterai dan panel surya.

Data hasil pengujian dianalisis untuk mengetahui tingkat keberhasilan komunikasi, kestabilan sistem, dan kemampuan alat dalam melakukan *monitoring* kondisi lahan gambut secara *real-time*. Hasil analisis digunakan untuk menilai apakah sistem yang dirancang telah mampu mendukung pencegahan dini kebakaran lahan gambut berbasis IoT.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Prototype sistem pencegahan dini kebakaran lahan gambut berbasis *Internet of Things* berhasil direalisasikan menggunakan komunikasi *Long Range* (LoRa). Sistem terdiri dari node pemantauan dan *gateway* yang saling terhubung untuk melakukan *monitoring* kondisi lingkungan secara *real-time*. Node digunakan untuk membaca parameter lingkungan berupa tinggi muka air tanah, suhu udara, kelembaban udara, suhu tanah, dan partikel udara, sedangkan *gateway* berfungsi menerima data hasil pembacaan sensor, menampilkan data pada LCD, menyimpan data ke *micro SD card*, serta mengirimkan informasi ke platform *ThingSpeak* dan Telegram.



Gambar 4. Prototype Sistem Pemantau Lahan Gambut: (a) Tata letak komponen internal pada boks panel gateway/node, (b) Implementasi instalasi perangkat pada saat pengujian lapangan.

Implementasi sistem menggunakan Arduino Nano pada sisi node dan NodeMCU ESP32 pada sisi *gateway*. Komunikasi data antar perangkat menggunakan modul LoRa sehingga sistem dapat digunakan pada wilayah dengan keterbatasan jaringan internet maupun seluler. Selain itu, sistem didukung oleh baterai dan panel surya sebagai sumber daya agar prototype mampu bekerja secara mandiri di lapangan.

Hasil Pengujian Jarak Transmisi Modul LoRa

Pengujian modul transmisi nirkabel LoRa EBYTE E220-400T30D dilakukan untuk mengetahui keandalan jarak pengiriman paket data (*telemetry*) dari titik pemantauan (*node*) ke stasiun penerima (*gateway*). Pengujian dilakukan menggunakan antena *gain* 3 dBi dengan memvariasikan ketinggian antena penerima pada kondisi lingkungan yang memiliki hambatan fisik (*Non-Line-of-Sight*).

Tabel 1. Hasil Pengujian Jarak dan Kekuatan Sinyal LoRa pada Berbagai Ketinggian Antena Gateway

Jarak Pengujian	Ketinggian Antena 2,5 m	Ketinggian Antena 3 m	Ketinggian Antena 6 m
50 Meter	-57 dBm (Berhasil)	-	-42 dBm (Berhasil)
100 Meter	-70 dBm (Berhasil)	-	-54 dBm (Berhasil)
200 Meter	Gagal	-76 dBm (Berhasil)	-57 dBm (Berhasil)
300 Meter	Gagal	-84 dBm (Berhasil)	-55 dBm (Berhasil)
500 Meter	Gagal	-81 dBm (Berhasil)	-78 dBm (Berhasil)
1100 Meter	Gagal	Gagal	-90 dBm (Berhasil)
1200 Meter	Gagal	Gagal	Gagal

Berdasarkan data komparasi yang merangkum hasil uji lapangan, terlihat bahwa ketinggian antena memberikan dampak paling signifikan terhadap kapabilitas propagasi gelombang radio. Pada ketinggian antena 2,5 meter di dalam ruangan, sinyal mengalami atenuasi masif sehingga transmisi gagal pada jarak melampaui 100 meter. Namun, dengan menempatkan antena *gateway* di luar ruangan pada ketinggian 6 meter, alat mampu mempertahankan komunikasi data yang stabil hingga radius 1,1 kilometer dengan nilai *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) sebesar -90 dBm. Hal ini mengonfirmasi bahwa skema topologi jaringan dapat diekspansi lebih jauh menggunakan metode estafet data antar-*node* untuk mencakup area hutan gambut yang masif.

Hasil Pengujian Pembacaan Sensor

Sensor ultrasonik digunakan sebagai instrumen akuisisi data Tinggi Muka Air (TMA) yang merupakan indikator hidrologis paling kritis dalam mendeteksi kerawanan lahan gambut.

Tabel 2. Hasil Pengujian Akurasi Sensor Ultrasonik A02YYUW

Alat Ukur Aktual	Pembacaan Sensor	Akurasi Sensor
10,0 cm	10,00 cm	100%
20,0 cm	20,00 cm	100%
21,5 cm	21,50 cm	100%
35,5 cm	30,00 cm	81,67%
61,5 cm	40,20 cm	47%

Berdasarkan Tabel 2., instrumen menunjukkan performa absolut (akurasi 100%) pada jarak ukur 10 hingga 21,5 cm. Akan tetapi, terjadi penyimpangan deviasi (*error*) yang fatal ketika target berada pada jarak lebih dari 30 cm, di mana akurasi anjlok drastis hingga 47% pada jarak aktual 61,5 cm. Anomali pembacaan spasial ini secara teknis disebabkan oleh keterbatasan spesifikasi material komponen yang tidak mengukung standar *industrial grade* untuk dihadapkan pada lingkungan observasi yang keras (*harsh environment*) secara terus-menerus.

Kondisi termal dan tingkat polutan diuji menggunakan sensor suhu tanah berlapis selubung *stainless steel* (DS18B20), sensor iklim mikro (DHT22), dan sensor debu laser partikulat (ZH03B).

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor DHT22 dan Sensor DS18B20

Waktu (WIB)	Suhu Udara (DHT22)	Kelembaban Udara (DHT22)	Suhu Tanah (DS18B20)
12:27:40	-	-	28,69 °C
12:30:45	34,2 °C	58,90%	-
12:30:55	34,3 °C	58,60%	-

Data Tabel 3. memvalidasi kelayakan fungsional instrumen suhu. DHT22 mampu mendeteksi fluktuasi minor pada variabel kelembaban (turun 0,30% dalam durasi 10 detik) yang mana penurunan *humidity* berkorelasi kuat dengan indikator awal titik panas (*hotspot*). Untuk parameter polusi udara, simulasi buatan dengan induksi asap eksternal dilakukan terhadap sensor partikulat ZH03B.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sensor ZH03B

Kondisi Lingkungan	PM1.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Normal / Bersih	24	30	34
Terpapar Asap	683	836	1000
Recovery (Udara Bersih)	129	158	187

Sesuai dengan Tabel 4, sensor merespons paparan asap dengan sangat agresif. Konsentrasi PM10 melonjak dari level aman $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ menjadi $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mengindikasikan tingkat kepekatan molekul udara yang luar biasa tinggi saat pembakaran organik. Sensitivitas respons transien ini krusial untuk mengeksekusi peringatan kelembagaan sebelum api *ground fire* menjalar meluas ke atas permukaan.

Hasil Pengujian Sistem Catu Daya

Karena titik *node* diinstalasi di pedalaman tanpa pasokan listrik PLN, keandalan sistem pembangkitan swadaya berbasis panel surya 10 Wp dan *battery pack* tipe 18650 menjadi penentu kontinuitas observasi. Pengujian memonitor karakteristik arus pengisian sirkuit *Battery Management System* (BMS).

Tabel 5. Hasil Pengukuran Arus dari Panel Surya dan Tegangan Baterai

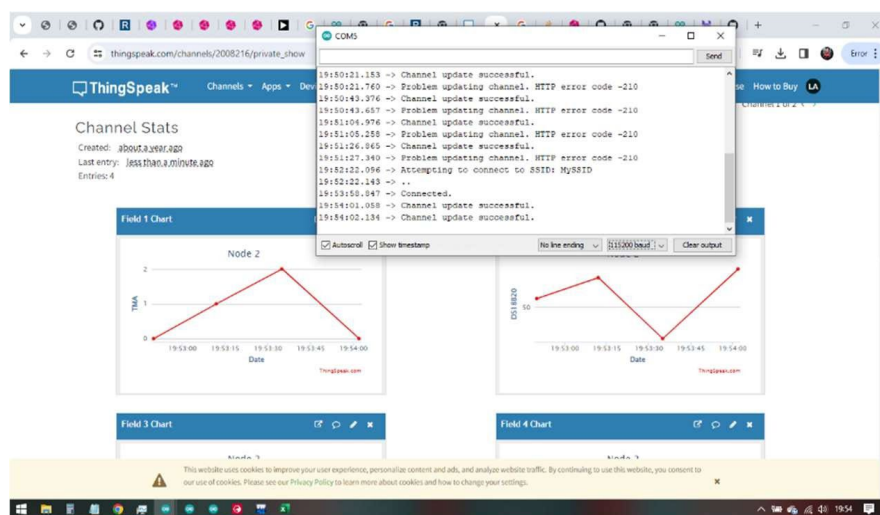
Waktu (WIB)	Arus Pengisian Panel (mA)	Tegangan Modul Baterai (V)
11:00	1009	3,64
12:00	612	3,82
13:00	153	4,05
18:00	0	4,21

Kurva daya komulatif pada Tabel 5 memperlihatkan titik efisiensi puncak terjadi pada pukul 11:00 WIB, dengan injeksi arus sebesar 1,009 Ampere. Seiring dengan masuknya daya, tegangan sel baterai secara gradual memulih dari kondisi terkuras (3,64 V) hingga mencapai ambang jenuh pengisian (*fully charged*) pada level 4,21 V saat intensitas foton nihil di sore hari.

Skenario pengujian ekstrem juga membuktikan bahwa pada kondisi cuaca *full-cloudy* (ketiadaan iradiasi matahari untuk *charging*), akumulasi kapasitas cadangan baterai mampu menopang siklus siklik pengambilan data seluruh modul *node* hingga mencapai total 38 jam operasional sebelum sistem kehilangan daya secara total.

Hasil Pengujian Sistem ThingSpeak dan Notifikasi Telegram

Seluruh variabel fisik dikonversikan dan ditransmisikan secara estafet menuju *gateway*, untuk diteruskan oleh mikrokontroler ESP32 ke dalam pangkalan data *Time-Based* layanan *cloud* ThingSpeak via infrastruktur internet WiFi. Visualisasi data grafikal terpantau sinkron secara *real-time*, baik pada *server* platform MathWorks maupun salinan arsip pencatatan lokal pada modul *Micro SD Card* berformat CSV untuk cadangan *fail-safe*.



Gambar 5. Hasil Pengujian Layanan IoT dari ThingSpeak

Sistem logika interupsi perangkat lunak mengalkulasi variabel yang terbaca. Saat *threshold* bahaya diaktifkan secara komputasional, misalnya kepekatan materi PM10 menyentuh ambang atas atau amblesnya Tinggi Muka Air secara drastis, yang mana *gateway* sukses memanggil *webhook* API secara instan, mencetak *push-notification* yang berisi informasi peringatan titik lokasi pada aplikasi Telegram pengguna. Sistem telemetri berhasil berjalan secara terpadu tanpa intervensi manual petugas di lapangan.



Gambar 6. Hasil Pengujian Notifikasi Aplikasi Telegram

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil rancang bangun dan pengujian lapangan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Sistem Pencegahan Dini Kebakaran Lahan Gambut Berbasis IoT ini berhasil diimplementasikan sebagai instrumen pemantauan lingkungan yang mandiri. Modul komunikasi LoRa EBYTE E220-400T30D mampu mentransmisikan paket data *telemetry* secara stabil hingga radius jangkauan maksimum 1,1 km dengan nilai RSSI -90 dBm pada kondisi lingkungan *Non-Line-of-Sight* (NLOS) bervegetasi rapat, dengan syarat elevasi antena *gateway* diposisikan pada ketinggian minimal 6 meter.

Sistem akuisisi parameter lingkungan (suhu udara, kelembaban, suhu tanah, dan kepekatan partikulat asap PM10) memiliki respons transien yang agresif dan sensitif terhadap indikasi awal *hotspot*. Namun, sensor ultrasonik waterproof A02YYUW yang digunakan sebagai indikator utama Tinggi Muka Air (TMA) menunjukkan keterbatasan performa yang signifikan, di mana akurasi anjlok hingga 47% pada jarak ukur aktual 61,5 cm akibat pengaruh hambatan fisik serta kondensasi uap air di dalam ruang silinder sumur pantau. Di sisi lain, sistem manajemen daya mandiri (panel surya 10 Wp dan baterai 18650) terbukti andal menjaga kontinuitas operasional perangkat hingga 38 jam tanpa paparan sinar matahari langsung, serta integrasi jaringan IoT platform ThingSpeak dan notifikasi bot Telegram mampu mendistribusikan peringatan kritis secara *real-time*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Program Studi Teknologi Rekayasa Sistem Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Pontianak atas dukungan fasilitas laboratorium dan bimbingan akademik selama pelaksanaan penelitian ini. Apresiasi juga ditujukan kepada rekan-rekan tim lapangan yang telah membantu jalannya proses pengujian eksperimental dan pengambilan data komparatif pada ekosistem lahan gambut Kalimantan Barat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. F. Dicelebica, A. A. Akbar, and D. R. Jati, "Identifikasi dan Pencegahan Daerah Rawan Bencana Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut Di Kalimantan Barat," *J. Ilmu Lingkung.*, vol. 20, no. 1, pp. 115–126, Jan. 2022, doi: 10.14710/jil.20.1.115-126.
- [2] N. Febrianti, K. Murti Laksono, and B. Barus, "PENGARUH TINGGI MUKA AIR GAMBUT SEBAGAI INDIKATOR PERINGATAN DINI BAHAYA KEBAKARAN DI SUNGAI JANGKANG - SUNGAI LIONG," *J. Penginderaan Jauh Dan Pengolah. Data Citra Digit.*, vol. 16, no. 1, pp. 9–19, Jun. 2019, doi: 10.30536/inderaja.v16i1.3346.
- [3] E. I. Putra, M. S. Imanudin, M. A. Cochrane, L. Graham, B. H. Saharjo, and H. Hayasaka, "REFERENSI TINGGI MUKA AIR TANAH BAGI PENCEGAHAN KEBAKARAN GAMBUT DI INDONESIA," 2018.
- [4] B. H. Purwoto, J. Jatmiko, M. A. Fadilah, and I. F. Huda, "Efisiensi Penggunaan Panel Surya sebagai Sumber Energi Alternatif," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 18, no. 1, pp. 10–14, Mar. 2018, doi: 10.23917/emit.v18i01.6251.
- [5] M. B. Djaufani, N. Hariyanto, and S. Saodah, "Perancangan dan Realisasi Kebutuhan Kapasitas Baterai untuk Beban Pompa Air 125 Watt Menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya".
- [6] A. Hermawan, M. Hananto, and D. Lasut, "PENINGKATAN INDEKS STANDAR PENCEMARAN UDARA (ISPU) DAN KEJADIAN GANGGUAN SALURAN PERNAPASAN DI KOTA PEKANBARU," *J. Ekol. Kesehat.*, vol. 15, no. 2, pp. 76–86, Oct. 2016, doi: 10.22435/jek.v15i2.4618.76-86.
- [7] A. Wibowo, "PERAN LAHAN GAMBUT DALAM PERUBAHAN IKLIM GLOBAL," 2009.
- [8] T. Liu, "Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22." New York: Aosong Electronic, 2015.
- [9] DFRobot, "A02YYUW Waterproof Ultrasonic Sensor." Accessed: Apr. 18, 2024. [Online]. Available: <https://www.dfrobot.com/product-1935.html>

- [10] EBYTE, "E220-400T30D User Manual 433/470MHz 30dBm LoRa Wireless Module." ChengDu Ebyte Electronic Technology Co., Ltd., Tech. Rep., 2020.
- [11] Winsen, "Laser Dust Module (ZH03/ZH03A/ZH03B)." Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd., 2016.
- [12] WHO, *WHO global air quality guidelines. Particulate Matter (PM2.5 and PM10), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide*. 2021.