IMPLEMENTASI SISTEM IOT DENGAN ENERGI TERBARUKAN UNTUK DETEKSI DINI KEBAKARAN PADA LAHAN

IRVANDO ALDO RENALDY
H1051211055

SKRIPSI

PROGRAM STUDI REKAYASA SISTEM KOMPUTER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2025

IMPLEMENTASI SISTEM IOT DENGAN ENERGI TERBARUKAN UNTUK DETEKSI DINI KEBAKARAN PADA LAHAN

IRVANDO ALDO RENALDY
H1051211055

Skripsi
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Komputer pada Program Studi Rekayasa Sistem Komputer

PROGRAM STUDI REKAYASA SISTEM KOMPUTER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2025

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir	: Implementasi Sistem IoT Dengan Energi Terbarukan Untuk Deteksi Dini Kebakaran Pada Lahan
Nama Mahasiswa	: Irvando Aldo Renaldy
NIM	: H1051211055
Jurusan/Program Studi	: Rekayasa Sistem Komputer
Tanggal Lulus	: 29 Juli 2025
SK Pembimbing	: No.930/UN22.8/TD.06/2025/19 Maret 2025
SK Penguji	: No.2361/UN22.8/TD.06/2025/22 Juli 2025

Dosen Pembimbing

Pembimbing I	Pembimbing II
Rahmi Hidayati, S.Kom., M.Cs.	Kartika Sari, S.Kom., M.Cs.
NIP. 198607202015042001	NIP. 199206162022032014

Dosen Penguji

Ketua Penguji	Anggota Penguji
Suhardi, S.T., M.Eng	Irma Nirmala, S.T., M.T.
NIP. 198606182020121006	NIP. 198404052019032015

Pimpinan Sidang (merangkap anggota penguji)	Sekretaris Sidang (merangkap anggota penguji)
Rahmi Hidayati, S.Kom., M.Cs.	Kartika Sari, S.Kom., M.Cs.
NIP. 198607202015042001	NIP. 199206162022032014

Mengesahkan
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Tanjungpura

Prof. Dr. Gustizal, S.Si., M.Si.
NIP. 197108022000031001

PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	:	Irvando Aldo Renaldy
NIM	:	H1051211055
Program Studi/ Jurusan	:	Rekayasa Sistem Komputer
Fakultas	:	Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa dokumen ilmiah Tugas Akhir yang disajikan ini tidak mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, Dan Teknologi Republik Indonesia Nomor 39 Tahun 2021. Apabila di kemudian hari dokumen ilmiah Tugas Akhir ini mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai ketentuan perundangan tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Demikian pernyataan ini untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Pontianak, 29 Juli 2025



Irvando Aldo Renaldy

H1051211055

IMPLEMENTASI SISTEM IOT DENGAN ENERGI TERBARUKAN UNTUK DETEKSI DINI KEBAKARAN PADA LAHAN

ABSTRAK

Kebakaran lahan merupakan salah satu permasalahan serius yang berdampak luas terhadap lingkungan, kesehatan, dan aktivitas sosial masyarakat. Permasalahan ini menjadi lebih kompleks di daerah terpencil yang tidak memiliki infrastruktur jaringan dan sumber listrik yang merata. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem pemantauan yang dapat beroperasi secara mandiri dan dapat memantau serta memberikan peringatan terhadap adanya kebakaran. Penelitian ini mengembangkan sistem deteksi dini kebakaran berbasis Internet of Things (IoT) yang mengandalkan energi terbarukan dari panel surya sebagai sumber daya utama. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan berbagai sensor, seperti AMG8833 untuk mendeteksi api melalui pendekatan *thermal sensing*, DHT22 untuk suhu dan kelembaban di dalam panel box, MAX6675 untuk suhu di lingkungan sekitar, dan MQ2 untuk mendeteksi konsentrasi gas di lingkungan sekitar. Data dari sensor dikirim secara nirkabel melalui modul LoRa ke perangkat penerima, kemudian diteruskan ke broker MQTT dan ditampilkan melalui antarmuka situs web. Pengujian dilakukan dalam empat kondisi lingkungan berbeda untuk menganalisis performa sistem. Hasil menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi keberadaan api berdasarkan peningkatan suhu, serta berhasil mengirim data termal secara utuh dalam dua paket tanpa kehilangan data. Waktu *delay* rata-rata dari pengiriman hingga data dapat ditampilkan di *website* adalah 4,19 detik. Sistem ini terbukti dapat bekerja secara terus-menerus baik siang maupun malam tanpa ketergantungan pada sumber listrik eksternal.

Kata Kunci: IoT, kebakaran lahan, ESP32, LoRa, AMG8833, energi terbarukan.

Implementation of a Renewable Energy-Powered IoT-Based System for Early Detection of Land Fires

ABSTRACT

Land fires are one of the serious problems that have a widespread impact on the environment, health, and social activities of the community. This problem becomes more complex in remote areas that do not have network infrastructure and equitable electricity sources. Therefore, a monitoring system is needed that can operate independently and is able to monitor and provide warnings of the occurrence of fires. This study develops an early fire detection system based on the Internet of Things (IoT) that relies on renewable energy from solar panels as the main power source. The system uses the ESP32 microcontroller integrated with various sensors, such as the AMG8833 to detect fire through thermal sensing approach, DHT22 for temperature and humidity inside the panel box, MAX6675 for temperature in the surrounding environment, and MQ2 for detecting gas concentration in the surrounding environment. Sensor data is transmitted wirelessly via the LoRa module to the receiver device, then forwarded to the MQTT broker and displayed through a website interface. Testing was carried out under four different environmental conditions to analyze the system's performance. The results show that the system is capable of detecting the presence of fire based on temperature increases and successfully transmits thermal data completely in two packets without data loss. The average delay time from transmission until the data appears on the site is 4.19 seconds. This system has been proven to operate continuously both day and night without dependence on external power sources.

Keywords: *IoT, land fire, ESP32, LoRa, AMG8833, renewable energy.*

PRAKATA

Dengan memanjatkan puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul " Implementasi Sistem Iot Dengan Energi Terbarukan Untuk Deteksi Dini Kebakaran Pada Lahan" sebagai syarat bagi penulis untuk mendapatkan gelar Sarjana Komputer (S. Kom) pada Jurusan Rekayasa Sistem Komputer Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura Pontianak.

Semua hasil yang diperoleh ini tidak terlepas dari segala dukungan dan bantuan dari berbagai pihak yang tidak pernah berhenti mendorong penulis agar dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Sebagai penghargaan dari penulis, izinkanlah penulis mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Untuk kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan, doa, motivasi, kasih yang tak pernah pudar, dan semangat yang selalu mengiringi setiap langkah saya, dari awal perjalanan hingga tercapainya titik ini.
2. Bapak Prof. Dr. Gusrizal, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura Pontianak.
3. Bapak Tedy Rismawan, S.Kom., M.Cs., selaku Ketua Jurusan Rekayasa Sistem Komputer FMIPA Universitas Tanjungpura Pontianak.
4. Ibu Rahmi Hidayati, S. Kom., M. Cs., selaku dosen pembimbing akademik dan juga sebagai pembimbing pertama yang sudah membimbing dan memberikan saran selama pelaksanaan perkuliahan berlangsung, juga telah banyak memberikan nasihat serta motivasi dalam menyelesaikan skripsi.
5. Ibu Kartika Sari, S. Kom., M.Cs., sebagai dosen pembimbing kedua yang telah banyak meluangkan waktu dan pikiran untuk membimbing, memberikan nasihat serta motivasi dalam menyelesaikan skripsi.
6. Bapak Suhardi, S. T., M. Eng., sebagai dosen penguji pertama yang telah banyak memberikan masukan dan saran dalam penulisan skripsi.
7. Ibu Irma Nirmala, S. T., M. T., sebagai dosen penguji kedua yang telah banyak memberikan masukan dan saran dalam penulisan skripsi.

8. Adinda Sari Ramadhani, Valencia Clarita Anggi atas kesabaran, dukungan, semangat, serta segala bantuan yang telah diberikan dalam berbagai hal, yang sangat berarti dan turut membantu terselesaikannya tugas akhir ini.
9. Teman-teman saya Primus Mario Andaka Ginting, Dwifikus Jero, Naufal Raihan Elriza, Shabran Tri Mauliansyah, Syarif Alif, Dendi, Andy Wijaya, Yessa Tria Anggraini yang senantiasa menemani, membantu, memberi semangat, dan selalu hadir saat dibutuhkan.
10. Semua pihak yang terlibat langsung maupun yang tidak langsung dalam penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini masih memiliki kekurangan dan belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis maupun pembaca.

Pontianak, 29 Juli 2025



Irvando Aldo Renaldy

NIM. H1051211055

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ii
PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK iii
ABSTRAK iv
ABSTRACT v
PRAKATA vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR KODE PROGRAM xiv
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Batasan Masalah 4
1.5 Manfaat Penelitian 5
1.6 Sistematika Penelitian 5
BAB 2 LANDASAN TEORI 7
2.1 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu 7
2.2 NodeMCU ESP32 9
2.3 AMG8833 9
2.4 DHT22 9
2.5 MAX6675 10
2.6 MQ2 10
2.7 LoRa 11
2.8 Panel Surya 11
2.9 Solar charge controller 12
2.10 Aki Motor 12V 12
2.11 DC-DC *Stepdown Converter* 13
2.12 MQTT (*Mosquitto* Broker) 13

2.13 Laravel 13
2.14 Arduino IDE 14
2.15 *Visual studio code* 14
2.16 *Python* 14
2.17 Fritzing 15
2.18 XAMPP 15
2.19 Pemecahan Data (*chunking*) 15
BAB 3 METODE PENELITIAN 16
3.1 Studi Literatur 16
3.2 Analisis Kebutuhan 17
3.2.1 Kebutuhan Perangkat Keras 17
3.2.2 Kebutuhan Perangkat Lunak 17
3.3 Perancangan Sistem 18
3.3.1 Perancangan Perangkat Keras 18
3.3.2 *Transmitter* 18
3.3.3 *Receiver* 19
3.3.4 Perancangan Perangkat Lunak 19
3.4 Implementasi 19
3.5 Pengujian Sistem 19
3.6 Kesimpulan dan Saran 20
BAB 4 PERANCANGAN SISTEM 21
4.1 Deskripsi Sistem 21
4.2 Perancangan Arsitektur Sistem 21
4.3 Perancangan Perangkat Keras 23
4.3.1 *Transmitter* 24
4.3.2 *Receiver* 28
4.4 Perancangan Perangkat Lunak 28
4.4.1 Perancangan *Website* Monitoring 29
4.4.2 Perancangan *Database* 29
4.5 Perancangan Pengujian *Black Box* 32
BAB 5 IMPLEMENTASI, PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN 33
5.1 Implementasi Sistem 33

5.2 Implementasi Perangkat Keras 33
5.2.1 *Transmitter* 33
5.2.2 *Receiver* 37
5.3 Implementasi Perangkat Lunak 38
5.3.1 Implementasi Halaman *Dashboard* 38
5.3.2 Implementasi Notifikasi *Website* 39
5.4 Kode Program 39
5.4.1 Kode Program *Transmitter* 39
5.4.2 Kode Program *Receiver* 41
5.4.3 Kode Program *Subscriber* 42
5.5 Pengujian Sistem 44
5.5.1 Pengujian Kinerja Sensor 45
5.5.2 Pengujian Kinerja ESP32 dan LoRa terhadap Data Besar 51
5.5.3 Pengujian *Delay Transmitter* ke *Server* 60
5.5.4 Pengujian Pemanfaatan Energi Terbarukan 62
5.5.5 Pengujian *Black Box* 63
5.5.6 Stress Test 64
5.6 Pembahasan 68
BAB 6 PENUTUP 70
6.1 Kesimpulan 70
6.2 Saran 70
DAFTAR PUSTAKA 72
LAMPIRAN 75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 NodeMCU ESP32 9
Gambar 2.2 AMG8833 9
Gambar 2.3 DHT22 10
Gambar 2.4 MAX6675 10
Gambar 2.5 MQ2 11
Gambar 2.6 LoRa 11
Gambar 2.7 Panel Surya 12
Gambar 2.8 *Solar charge controller* 12
Gambar 2.9 Aki Motor 12V 13
Gambar 2.10 DC-DC Stepdown Converter 13
Gambar 3.1 *Flowchart* Metode Penelitian 16
Gambar 4.1 Deskripsi Sistem 21
Gambar 4.2 Rancangan Sistem Pendeteksi Kebakaran 22
Gambar 4.3 *Flowchart* Sistem 23
Gambar 4.4 Konfigurasi Pin AMG8833 25
Gambar 4.5 Konfigurasi Pin MQ2 25
Gambar 4.6 Konfigurasi Pin MAX6675 26
Gambar 4.7 Konfigurasi Pin DHT22 26
Gambar 4.8 Konfigurasi Pin LoRa SX1278 27
Gambar 4.9 Konfigurasi Sistem Sumber Daya 27
Gambar 4.10 Konfigurasi Pin LoRa SX1278 28
Gambar 4.11 Perancangan Halaman *Dashboard* 29
Gambar 5.1 Implementasi *Transmitter* 33
Gambar 5.2 Implementasi Pembacaan Sensor Termal 34
Gambar 5.3 Implementasi Pembacaan Sensor Suhu 34
Gambar 5.4 Implementasi Pembacaan Sensor Gas 35
Gambar 5.5 Implementasi Pembacaan Sensor Suhu dan Kelembaban 35
Gambar 5.6 Implementasi Modul LoRa 36
Gambar 5.7 Implementasi Sistem Sumber Daya 36
Gambar 5.8 Implementasi *Receiver* 37

Gambar 5.9 Implementasi Modul LoRa 37
Gambar 5.10 Implementasi Sistem Sumber Daya 38
Gambar 5.11 Implementasi Halaman *Dashboard* 38
Gambar 5.12 Notifikasi *Website* 39
Gambar 5.13 Tampilan serial monitor ESP32 *transmitter* 51
Gambar 5.14 Tampilan Terminal *Python subscriber* 52
Gambar 5.15 Terminal *Python subscriber* 60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu 7
Tabel 4.1 Konfigurasi Pin AMG8833 24
Tabel 4.2 Konfigurasi Pin MQ2 25
Tabel 4.3 Konfigurasi Pin MAX6675 25
Tabel 4.4 Konfigurasi Pin DHT22 26
Tabel 4.5 Konfigurasi Pin LoRa SX1278 27
Tabel 4.6 Konfigurasi Pin LoRa SX1278 28
Tabel 4.7 Rancangan tabel data sensor 30
Tabel 4.8 Rancangan tabel data sensor AMG 30
Tabel 4.9 Tabel log data sensors 31
Tabel 4.10 Perancangan Pengujian Black Box 32
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Sensor (Tidak hujan, Tidak Ada Api)..... 45
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Sensor (Tidak Hujan, Ada Api) 47
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Sensor (Hujan, Ada Api) 48
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Sensor (Hujan, Tidak Ada Api) 50
Tabel 5.5 Hasil Data pada Tabel data sensor AMG..... 52
Tabel 5.6 Hasil Pengujian *delay Transmitter* ke *Server*..... 61
Tabel 5.7 Tabel Pengamatan Tegangan Hasil Panel Surya..... 62
Tabel 5.8 Hasil Pengujian *Black Box* 63
Tabel 5.9 *Stress Test* Tidak Ada Api..... 65
Tabel 5.10 *Stress Test* Ada Api 66

DAFTAR KODE PROGRAM

Kode Program 5.1 Inisialisasi Library dan Pin 40
Kode Program 5.2 Setup dan Inisialisasi Komponen 40
Kode Program 5.3 Pembacaan Data Sensor dan Pengiriman Paket 41
Kode Program 5.4 Setup Perangkat dan LoRa 41
Kode Program 5.5 Penerimaan dan Pengiriman Data dengan MQTT..... 42
Kode Program 5.6 Inisialisasi Koneksi MQTT dan *Database* 42
Kode Program 5.7 Fungsi on_connect(): Subscribe Topik MQTT 43
Kode Program 5.8 Pemrosesan Data Sensor Utama 43
Kode Program 5.9 Pemrosesan Data AMG8833 (AMG1 dan AMG2) 44
Kode Program 5.10 Inisialisasi Client dan Loop 44

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebakaran lahan merupakan bencana ekologis yang tidak hanya merusak lingkungan, tetapi juga berdampak buruk terhadap kesehatan, ekonomi, dan perubahan iklim. Insiden ini sering kali baru disadari ketika api sudah menyebar luas, sehingga upaya mitigasi menjadi sulit dilakukan secara efektif. Hal ini diperparah dengan terbatasnya sistem pemantauan di wilayah terpencil, terutama di area lahan gambut (Muralidhar & Sandeep, 2024). Oleh karena itu, diperlukan sistem deteksi dini yang mampu bekerja secara mandiri untuk mengurangi potensi kerugian besar yang ditimbulkan.

Penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan solusi strategis dalam memantau parameter lingkungan. IoT memungkinkan berbagai sensor seperti suhu, kelembaban, gas, dan radiasi panas digunakan untuk mendeteksi indikasi awal terjadinya kebakaran. Dalam sistem ini, mikrokontroler ESP32 menjadi pilihan ideal karena konsumsi dayanya yang rendah dan kemampuannya dalam mengelola berbagai sensor. Selain itu, komunikasi nirkabel LoRa sangat efektif digunakan di wilayah tanpa infrastruktur *internet* karena memiliki jangkauan luas dan efisiensi tinggi (Witczak & Szymoniak, 2024).

Namun, meskipun LoRa sangat ideal untuk jaringan IoT berdaya rendah dan jarak jauh, tentunya masih memiliki keterbatasan terutama dalam hal kapasitas *payload*. Dengan batas maksimal antara 51 hingga 222 *byte*, protokol ini menghadapi kendala signifikan dalam mengirimkan data berukuran besar seperti citra termal. Hal ini menyebabkan transmisi data besar melalui LoRa sering kali mengakibatkan *delay* tinggi dan tingkat keberhasilan pengiriman yang rendah, terutama pada jarak yang lebih jauh. Sebagai solusi, penelitian dalam jurnal "Implementasi Pemecahan Transmisi Data Citra pada Protokol LoRa" oleh (Illahi et al., 2022) mengusulkan metode pemecahan data (*chunking*). Dalam pendekatan ini, data dipecah menjadi dua *payload* yang sesuai dengan kapasitas *payload* LoRa. Setiap bagian dikirim secara berurutan dari *transmitter* ke *receiver*, lalu disatukan kembali pada sisi server sebelum dimasukkan ke *database*. Mekanisme ini tidak

hanya mengatasi keterbatasan *payload*, tetapi juga meningkatkan rasio kesuksesan pengiriman data.

Untuk memastikan komunikasi data berjalan ringan, digunakan protokol *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT). Protokol ini mengusung prinsip *publish/subscribe* dan mampu berjalan dengan baik pada *bandwidth* rendah dan *delay* kecil, menjadikannya sangat cocok untuk perangkat IoT di lingkungan terbatas (Rajković et al., 2025). Dalam banyak kasus, sistem yang menggunakan MQTT terbukti lebih cepat dalam menyampaikan peringatan dibandingkan protokol HTTP.

Namun, tantangan utama dalam penerapan sistem ini adalah ketersediaan energi, khususnya di area yang tidak terjangkau jaringan listrik. Oleh karena itu, integrasi panel surya dan sistem penyimpanan daya seperti aki menjadi solusi untuk mendukung keberlanjutan operasional perangkat IoT. Sistem ini memungkinkan deteksi kebakaran secara terus-menerus tanpa ketergantungan terhadap listrik eksternal, sehingga sangat cocok diterapkan di wilayah rawan namun sulit dijangkau (Morgado, 2023).

Penelitian sebelumnya yang berjudul "*Development of twig dryness sensor for internet of things-based peatland fire early detection system*" menawarkan pendekatan berbeda dengan merancang sensor kekeringan ranting sebagai indikator awal kebakaran lahan gambut. Sistem ini memanfaatkan ESP32, komunikasi LoRa, dan MQTT, serta ditujukan untuk mendeteksi potensi titik api pada vegetasi kering. Meskipun hasilnya menjanjikan dalam konteks prediksi dini, penelitian ini masih dalam tahap laboratorium dan belum terintegrasi dengan sistem pemantauan berbasis web (Muid et al., 2025). Pada penelitian ini akan diimplmentasikan sistem pemantauan berbasis web guna melengkapi penelitian sebelumnya.

Penelitian lain berjudul "*An IoT based Real Time Forest Fire Detection & Alerting System Using LoRa Communication*" membangun sistem real-time untuk mendeteksi kebakaran hutan dengan memanfaatkan ESP32, sensor suhu, dan gas yang terhubung melalui komunikasi LoRa. Sistem ini berhasil mengimplementasikan protokol MQTT untuk pengiriman data secara baik ke antarmuka berbasis web. Meskipun efektif dalam hal pengolahan data dan penyampaian notifikasi, penelitian ini belum menyentuh aspek keberlanjutan energi

di area terpencil (Muralidhar & Sandeep, 2024). Untuk menanggapi hal tersebut, pada penelitian ini diterapkan sistem sumber daya dari panel surya agar sistem dapat terus beroperasi tanpa bergantung pada sumber listrik eksternal.

Penelitian selanjutnya yang berjudul "*IoT-based approach for wildfire monitoring and detection*" mengusulkan sistem deteksi kebakaran dengan pendekatan *edge-fog-cloud computing* untuk mempercepat waktu respon. Sistem ini berbasis ESP32 dan LoRa serta menggunakan MQTT sebagai protokol komunikasi. Fokus utama dari penelitian ini adalah kecepatan deteksi dan pemrosesan data lokal sebelum dikirim ke *cloud* (Grari et al., 2022). Pada penelitian yang akan dilakukan meskipun tidak menggunakan arsitektur *edge-fog-cloud*, sistem tetap mampu melakukan deteksi dini dan pengiriman data melalui MQTT. Selain itu, kompleksitas sistem dengan *edge-fog-cloud computing* cenderung lebih tinggi dan memerlukan biaya tambahan.

Penelitian yang berjudul "*Design and Built a Prototype Kit for Fire Detection in a Peat Swamp Forest: A Preliminary Results*" merancang prototipe sistem deteksi kebakaran pada hutan rawa gambut. Sistem ini dilengkapi sensor suhu dan gas, serta menggunakan ESP8266 dan MQTT. Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi perubahan lingkungan yang signifikan (Hamzah et al., 2021). Meskipun begtu, sistem ini masih bergantung pada jaringan *Wi-Fi* untuk transmisi data yang pastinya tidak relevan untuk daerah tanpa infrastruktur internet.

Penelitian lain yang berjudul "*Review of monitoring and control systems based on internet of things*" memberikan ulasan yang luas terhadap berbagai sistem IoT untuk pemantauan lingkungan, termasuk untuk deteksi kebakaran. Penelitian ini menggarisbawahi pentingnya penggunaan komunikasi nirkabel jarak jauh seperti LoRa dan protokol MQTT dalam pengembangan sistem berbasis ESP32. Artikel ini menjadi rujukan penting dalam memahami peta teknologi terkini dalam IoT lingkungan (Witczak & Szymoniak, 2024).

Melalui penggabungan pendekatan dari berbagai penelitian terdahulu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem IoT deteksi dini kebakaran lahan yang ringan dalam pengiriman data, tetapi juga mandiri secara energi melalui

pemanfaatan panel surya. Data dikirimkan menggunakan protokol MQTT dan disajikan melalui *website* berbasis Laravel untuk memberikan akses monitoring.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, permasalahan yang terdapat pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pemanfaatan energi terbarukan dalam mendukung operasional dan keberlanjutan sistem IoT untuk deteksi dini kebakaran lahan?
2. Bagaimana pengoptimalan ESP32 dan LoRa untuk menerima dan mengirim data sensor yang besar?
3. Berapa lama waktu yang dibutuhkan dari *transmitter* hingga sampai ke penyajian data pada *website*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh dan kinerja penggunaan panel surya terhadap operasional dan keberlanjutan sistem IoT agar dapat beroperasi secara mandiri tanpa ketergantungan pada listrik eksternal.
2. Mengoptimalkan penggunaan ESP32 dan teknologi LoRa agar mampu mengirim dan menerima data sensor dalam jumlah besar dengan metode pemecahan data (*chunking*).
3. Mengukur waktu *delay* pengiriman data dari *transmitter* hingga data tersaji pada *website*.

1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Protokol yang digunakan adalah MQTT *Mosquitto*.
2. Sistem dirancang untuk mendeteksi kebakaran.
3. Pengujian sistem dilakukan pada simulasi kebakaran lahan skala kecil dan tidak mencakup pengujian langsung di area hutan luas.
4. Sistem hanya dapat mendeteksi kebakaran yang berada dalam jangkauan dan arah sensor.
5. Sensor selain AMG8833 hanya digunakan untuk memantau kondisi lingkungan sekitar sebagai informasi pendukung

6. Monitoring sistem dilakukan melalui aplikasi berbasis *website* yang dibangun menggunakan *framework* Laravel.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain adalah memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem IoT dengan memanfaatkan energi terbarukan seperti panel surya, sehingga sistem dapat beroperasi di lokasi terpencil tanpa perlu sumber daya eksternal. Selain itu, penelitian ini mendukung pengembangan sistem monitoring kebakaran berbasis MQTT, yang merupakan solusi komunikasi data ringan untuk perangkat IoT dengan keterbatasan sumber daya. Penelitian ini juga menyediakan dasar untuk penelitian lanjutan, terutama dalam pengembangan sistem deteksi dini kebakaran berbasis IoT yang lebih luas.

1.6 Sistematika Penelitian

Penulisan tugas akhir ini terdiri dari enam bab yang disusun secara sistematis untuk menjelaskan tahapan-tahapan dalam pengembangan sistem IoT berbasis energi terbarukan untuk deteksi dini kebakaran pada lahan. Adapun sistematika penulisan adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini membahas latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan. Bagian ini menjelaskan alasan dan urgensi dari pengembangan sistem deteksi dini kebakaran berbasis IoT dan energi terbarukan.

BAB 2 LANDASAN TEORI

Bab ini menguraikan teori-teori dan penelitian terdahulu yang mendukung pengembangan sistem, termasuk pembahasan mengenai Internet of Things (IoT), komunikasi LoRa, protokol MQTT (*Mosquitto*), sensor AMG8833, DHT22, MAX6675, MQ-2, ESP32, panel surya, serta perangkat lunak seperti *Python*, Laravel, dan XAMPP.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian, termasuk studi literatur, pengumpulan data, analisis kebutuhan sistem, perancangan arsitektur

sistem, serta alur data dari *transmitter* ke *receiver*, hingga integrasi dengan *database* dan *website*.

BAB 4 PERANCANGAN SISTEM

Bab ini menjelaskan proses perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Perancangan perangkat keras mencakup implementasi sensor, ESP32, LoRa, dan panel surya, sedangkan perancangan perangkat lunak mencakup pemrograman ESP32, pengolahan data dengan *Python*, dan pengembangan antarmuka web menggunakan Laravel.

BAB 5 IMPLEMENTASI, PENGUJIAN, DAN PEMBAHASAN

Bab ini memaparkan hasil implementasi sistem yang telah dirancang, termasuk pengujian fungsi sensor, pengiriman data melalui LoRa, visualisasi data pada *website*, serta menghitung *delay* dari *transmitter* mengirim data hingga sampai ke *server*. Pembahasan dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem hingga efisiensi energi.

BAB 6 PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan implementasi sistem, serta saran-saran untuk pengembangan sistem lebih lanjut, khususnya dalam konteks deteksi kebakaran lahan yang lebih luas di masa depan.