

SISTEM PEMANTAUAN LINGKUNGAN BERBASIS *INTERNET OF THINGS* UNTUK KONSERVASI CAGAR BUDAYA LEANG-LEANG KABUPATEN MAROS



MUH. ADNAN ALI NUGRAHA
H021 20 1049



PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU
PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024

Skripsi

“SISTEM PEMANTAUAN LINGKUNGAN BERBASIS *INTERNET OF THINGS* UNTUK KONSERVASI CAGAR BUDAYA LEANG-LEANG KABUPATEN MAROS”

**MUH. ADNAN ALI NUGRAHA
H021 20 1049**



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

SISTEM PEMANTAUAN LINGKUNGAN BERBASIS INTERNET OF THINGS UNTUK KONSERVASI CAGAR BUDAYA LEANG-LEANG KABUPATEN MAROS

MUH ADNAN ALI NUGRAHA
H021 20 1049

Skripsi

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Fisika

Pada

**PROGRAM STUDI FISIKA
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2024**

SKRIPSI

SISTEM PEMANTAUAN LINGKUNGAN BERBASIS INTERNET OF THINGS UNTUK KONSERVASI CAGAR BUDAYA LEANG-LEANG KABUPATEN MAROS

MUH ADNAN ALI NUGRAHA
H021 20 1049

Skripsi

Telah Dipertahankan Di Hadapan Panitia Ujian Sarjana Fisika Pada 20 November 2024 Dan Dinyatakan Telah Memenuhi Syarat Kelulusan.

Pada


Program Studi Fisika
Departemen Fisika
Fakultas Meatematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin

Mengesahkan:
Pembimbing Tugas Akhir,



Prof. Dr. Arifin, M.T
NIP. 19670520 199403 1 002

Mengetahui:
Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Arifin, M.T
NIP. 19670520 199403 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Sistem Pemantauan Lingkungan Berbasis Interhet of Things untuk Konservasi Cagar Budaya Leang-Leang Kabupaten Maros" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing Prof. Dr. Arifin, M.T. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa Sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 20 November 2024



Muh. Adnan Ali Nugraha
H021 20 1049

ABSTRAK

Muh Adnan Ali Nugraha. **SISTEM PEMANTAUAN LINGKUNGAN BERBASIS INTERNET OF THINGS UNTUK KONSERVASI CAGAR BUDAYA LEANG-LEANG KABUPATEN MAROS** (Dibimbing oleh Arifin)

Latar Belakang: Sistem pemantauan lingkungan berbasis Internet of Things (IoT) semakin berkembang sebagai solusi dalam mendukung konservasi cagar budaya, termasuk di kawasan Leang-Leang, Kabupaten Maros. Leang-Leang merupakan situs bersejarah yang rentan terhadap degradasi akibat perubahan kondisi lingkungan seperti suhu, kelembapan, konsentrasi debu, dan gas berbahaya seperti sulfur dioksida (SO₂). **Tujuan:** Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan lingkungan berbasis IoT untuk mendukung konservasi di kawasan Leang-Leang Kabupaten Maros dengan mengukur parameter lingkungan secara real-time. **Metode:** Sistem yang dikembangkan memanfaatkan sensor DHT22 untuk suhu dan kelembapan, ZH03B untuk konsentrasi debu, MQ-136 untuk gas SO₂, serta anemometer untuk kecepatan angin. Data dari sensor diproses menggunakan Arduino Uno dan dikirim melalui protokol LoRaWAN ke server Firebase. Pengujian sistem seperti bandwidth (125 kHz - 500 kHz), spreading factor (7 - 12), hingga jarak 250 meter diuji untuk mengevaluasi kinerja protokol jaringan Lora yang digunakan. **Hasil:** Sistem berhasil memantau kondisi lingkungan di Leang-Leang selama empat hari dengan tingkat akurasi masing-masing sensor: DHT22 (98,2%), ZH03B (97%), MQ-136 (94,6%), dan anemometer (97,6%). Delay rata-rata mencapai 11,9 ms pada bandwidth 500 kHz dan meningkat menjadi 15,6 ms pada bandwidth 125 kHz. Peningkatan spreading factor menghasilkan delay dari 1.345 ms (SF 7) hingga 23.356 ms (SF 12). Hasil pengambilan data selama empat hari menunjukkan variasi parameter lingkungan: suhu (25–29°C), kelembapan (50–80%), kecepatan angin (0 - 24,94 m/s), debu (2–10 µg/m³), dan SO₂ (5–12 µg/m³). **Kesimpulan:** Sistem IoT yang dikembangkan memberikan solusi efektif untuk memantau kondisi lingkungan secara real-time. Sistem ini memungkinkan deteksi dini perubahan parameter lingkungan yang dapat mempercepat degradasi artefak, sehingga mendukung upaya konservasi kawasan cagar budaya.

Kata kunci: IoT, LoRaWAN, konservasi, pemantauan lingkungan, Leang-Leang, web server, seni cadas.

ABSTRACT

Muh Adnan Ali Nugraha. **IoT-BASED ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM FOR CULTURAL HERITAGE CONSERVATION IN LEANG-LEANG, MAROS REGENCY** (Supervised by Arifin)

Background: IoT-based environmental monitoring systems are increasingly emerging as solutions to support the conservation of cultural heritage sites, including the Leang-Leang area in Maros Regency. Leang-Leang, a historic site, is vulnerable to degradation due to environmental changes such as temperature, humidity, dust concentration, and hazardous gases like sulfur dioxide (SO₂). **Objective:** This research aims to develop an IoT-based environmental monitoring system to support conservation efforts in the Leang-Leang area by measuring environmental parameters in real-time. **Methods:** The developed system utilizes DHT22 sensors for temperature and humidity, ZH03B sensors for dust concentration, MQ-136 sensors for SO₂ gas, and an anemometer for wind speed. Data from the sensors are processed using an Arduino Uno and transmitted via the LoRaWAN protocol to a Firebase server. System testing included bandwidth (125 kHz - 500 kHz), spreading factors (7 - 12), and a distance of up to 250 meters to evaluate the performance of the LoRa network protocol. **Results:** The system successfully monitored environmental conditions in Leang-Leang for four days, achieving sensor accuracy rates of DHT22 (98.2%), ZH03B (97%), MQ-136 (94.6%), and the anemometer (97.6%). The average delay was 11.9 ms at 500 kHz bandwidth, increasing to 15.6 ms at 125 kHz. Higher spreading factors resulted in delays ranging from 1,345 ms (SF 7) to 23,356 ms (SF 12). Data collected over four days showed variations in environmental parameters: temperature (25–29°C), humidity (50–80%), wind speed (0 - 24.94 m/s), dust concentration (2–10 µg/m³), and SO₂ (5–12 µg/m³). **Conclusion:** The developed IoT system provides an effective solution for real-time environmental monitoring. It enables early detection of environmental parameter changes that could accelerate artifact degradation, thereby supporting the conservation of cultural heritage sites.

Keywords: IoT, LoRaWAN, conservation, environmental monitoring, Leang-Leang, web server, rock art.

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
I.2.1 Tujuan Penelitian.....	3
I.2.2 Manfaat Penelitian	3
BAB II METODE PENELITIAN.....	4
II.1 Waktu dan Tempat Penelitian	4
II.2 Peralatan Penelitian	4
II.3 Metode Penelitian	4
II.3.1 Perancangan Perangkat Keras	6
II.3.2 Perancangan Perangkat Lunak	7
II.3.3 Pengujian Sistem	8
II.4 Bagan Alir Sistem Kerja Alat	8
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN	10
III.1 Hasil Pembuatan Alat.....	10
III.1.1 Hasil Pembuatan Perangkat Keras	11
III.1.2 Hasil Pembuatan Perangkat Lunak	12
III.2 Kalibrasi Sensor	14
III.2.1 Kalibrasi Sensor Suhu dan Kelembapan (DHT 22)	14
III.2.2 Kalibrasi Sensor Debu (ZH03B).....	16
III.2.3 Kalibrasi Sensor Kecepatan Angin (Anemometer)	17
III.2.4 Kalibrasi Sensor Gas Sulfur Dioksida (SO ₂) (MQ-136).....	18
III.3 Pengujian Sistem	19
III.4 Pengambilan Data.....	22
III.4.1 Tampilan Hasil di Webserver.....	29
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	31

IV.1 Kesimpulan	31
IV.2 Saran.....	31
DAFTAR PUSTAKA.....	32
LAMPIRAN	34

DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
1. Tahapan penelitian	5
2. Diagram blok sistem.....	6
3. Rangkaian perangkat keras	7
4. Diagram alur perancangan perangkat lunak.....	8
5. Bagan sistem kerja alat.....	9
6. Hasil pembuatan alat ; (a) perangkat pengirim. (b) perangkat penerima ...	10
7. Hasil perancangan perangkat keras	11
8. Tampilan <i>firebase console</i>	12
9. Tampilan halaman <i>real-time database firebase</i>	13
10. Tampilan halaman konfigurasi aplikasi <i>firebase</i>	13
11. Tampilan <i>webserver</i>	14
12. Grafik kalibrasi suhu sensor DHT 22 dengan alat pembanding	15
13. Grafik Kalibrasi kelembapan sensor DHT 22 dengan alat pembanding	16
14. Grafik kalibrasi sensor ZH03B	17
15. Grafik kalibrasi sensor anemometer	18
16. Grafik kalibrasi sensor MQ-136	19
17. Pengujian <i>bandwidth</i>	20
18. Hasil pengujian <i>spreading factor</i>	21
19. Hasil pengujian latensi LoRa	22
20. Hasil Pengukuran keseluruhan	23
21. Hasil pengukuran suhu	24
22. hasil pengukuran kelembapan	25
23. Hasil pengukuran sulfur dioksida SO ₂	26
24. hasil pengukuran kecepatan angin	27
25. Hasil pengukuran debu	28
26. Tampilan <i>webserver</i>	30

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Urut	Halaman
1. Peralatan penelitian	34
2. Data kalibrasi sensor DHT 22	37
3. Data kalibrasi sensor ZH03B	38
4. Data kalibrasi sensor MQ-136	38
5. Data kalibrasi sensor anemometer	39
6. Dokumentasi pengambilan data di lapangan.....	40
7. Data penelitian	41
8. Program	43

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Karya seni cadas dapat ditemukan hampir di seluruh dunia, karya seni cadas, atau *rock art*, merupakan salah satu jejak budaya yang universal. Gambar tangan, binatang, manusia, geometri, *abstrak*, dan sebagainya adalah contoh umum dari seni cadas. Seni cadas ini biasanya ditemukan di gua prasejarah yang menunjukkan bahwa adanya kehidupan manusia di dalam gua pada masa prasejarah (Habibi dkk.). Peninggalan budaya dari masa prasejarah termasuk berbagai macam artefak, seperti batu, tulang, kerangka manusia, dan artefak lainnya yang ditemukan di daerah gua yang dihuni oleh manusia. Di Indonesia, seni cadas paling banyak ditemukan di Sulawesi Selatan (Habibi dkk., t.t.; Yusriana, Muda, & Susanti, 2020).

Budaya seni cadas Indonesia merupakan salah satu yang tertua di dunia, bersama dengan situs gua terkenal di Eropa, El Castillo (Spanyol). Survei seni cadas prasejarah yang dilakukan di kawasan Karst Maros Pangkep pada tahun 2019 menemukan bahwa seni cadas di situs Leang Bulu Sipong 4 berusia 44.000 tahun. Seni cadas di situs Leang Bulu Sipong 4 menggambarkan adegan perburuan hewan (Permana dkk., 2021). Kawasan karst Maros-Pangkep, yang merupakan UNESCO Global Geopark, memiliki kurang lebih 135 gua pra-sejarah, di mana 78 di antaranya memiliki peninggalan berupa gambar cadas (*rock art*) (Yusriana, Muda, & Susanti, 2020). Terdapat sekitar 135 gua dan batu yang menyimpan karya seni cadas yang begitu indah dan tak terlupakan (Gagan dkk., 2022a). Warisan budaya gua-gua di kawasan Karst Maros-Pangkep tidak hanya mencakup gambar, tetapi juga pahatan batu, tulang, artefak kerang, peralatan berburu, tulang hewan hasil buruan, dan peninggalan arkeologis lainnya dari zaman masyarakat yang tinggal di kawasan karst pada masa lalu (Yusriana, Muda, Rustan, dkk., 2020).

Di kawasan karst Sulawesi Selatan, khususnya di kawasan Maros-Pangkep, banyak ditemukan lukisan dalam keadaan rusak sejak lama (Permana dkk., 2021). Perubahan iklim telah membawa pengaruh yang cukup besar yang berpotensi mempercepat laju degradasi pada lukisan purba tersebut, percepatan degradasi ini disebabkan oleh banyak faktor yang terjadi pada saat perubahan iklim (Chikodzi dkk., 2022). Berdasarkan hasil penelitian oleh Balai Cagar Alam Sulawesi Selatan di beberapa gua, ditemukan bahwa dari 340 gambar yang teridentifikasi, 92,7% di antaranya mengalami kerusakan. Terdapat 12 jenis kerusakan yang terdapat pada lukisan tersebut dan kerusakan paling banyak adalah pengelupasan (89,1%) dan pertumbuhan ganggang (30,6%) (Rustan dkk., 2020). Perubahan suhu, kelembapan, curah hujan, dan kecepatan angin merupakan pemicu kerusakan yang terjadi pada lukisan purba (*rock art*) (Chikodzi dkk., 2022). Gangguan pada batuan akibat proses alam umumnya berupa pelapukan. Pelapukan pada batuan biasanya disebabkan oleh kelembapan akibat

rembesan air di dalam gua. Selain itu, kerusakan juga disebabkan oleh aktivitas manusia seperti pemukiman, pertanian, pariwisata, industri, dan vandalisme (Permana dkk., 2021).

Terkait dengan konservasi, pada tahun 1985 hingga tahun 1986, melalui Proyek Pemugaran dan Pemeliharaan Peninggalan Sejarah dan Purbakala Sulawesi Selatan, telah dilakukan upaya konservasi terhadap mural perahu/kano di Gua Sumpang Bitu dan pelestarian mural rusa babi yang ada di Gua Pettakere. Upaya perlindungan yang dilakukan menggunakan bahan kimia termasuk barium karbonat dan resin Ciba EP-IS (Yusriana, Muda, Rustan, dkk., 2020), dan juga dilakukan pengamatan kondisi lukisan cadas pada gua dilakukan secara berkala setiap tiga bulan sekali (Yusriana, Muda, & Susanti, 2020).

Sebelumnya, beberapa studi telah dilakukan tentang gua lukisan cadas. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Adam Brumm dkk. (2021), gua tertua yang ditemukan di Sulawesi (Brumm dkk., 2021), dan penelitian yang dilakukan oleh Huntley dkk. (2021), bagaimana perubahan iklim memengaruhi seni cadas Pleistosen di Sulawesi (Huntley dkk., 2021a), dan penelitian yang dilakukan oleh Michael K. Gagan dkk. (2022) bagaimana udara belerang memengaruhi seni cadas Pleistosen di Sulawesi secara historis (Gagan dkk., 2022a). Namun, penelitian awal masih memiliki kekurangan pemantauan dilakukan secara manual, yang berarti bahwa setiap pemantau harus mengunjungi gua.

Dengan perkembangan teknologi saat ini, penggunaan *Internet of things* (IoT) dalam kehidupan sehari-hari sudah tidak bisa dihindari lagi. IoT memiliki kemampuan yang kuat untuk komunikasi jarak jauh melalui jaringan Internet. Fitur-fitur tersebut memungkinkan IoT digunakan dalam berbagai aplikasi yang mendukung efisiensi dan efektivitas. Penggunaan teknologi IoT dalam konteks ini menunjukkan bagaimana solusi pemantauan yang akurat dan tepat waktu dapat diciptakan dengan mengintegrasikan berbagai aplikasi sensor. *Long Range Wide Area Network* (LoRaWAN) adalah protokol jaringan komunikasi nirkabel yang dirancang untuk menghubungkan perangkat yang beroperasi pada daya rendah dengan jangkauan yang sangat luas. Jaringan LoRaWAN memungkinkan untuk mengakses data yang dikumpulkan secara *real-time*, memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik di berbagai bidang (Thouti dkk., 2022), (Radouan Ait Mouha, 2021).

Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan sistem pemantauan lingkungan berbasis IoT untuk konservasi cagar budaya di Leang-Leang Kabupaten Maros. Dalam penelitian ini, digunakan berbagai macam sensor untuk mengukur parameter lingkungan. Sensor DHT22 digunakan untuk memantau suhu dan kelembapan udara, sementara sensor ZH03B berfungsi untuk mengukur konsentrasi partikel debu di udara. Kecepatan angin diukur menggunakan sensor anemometer, dan sensor MQ-136 digunakan untuk mendeteksi gas sulfur dioksida (SO₂) yang dapat mempengaruhi kondisi lingkungan di situs cagar budaya tersebut. Sistem ini menggunakan teknologi LoRaWAN untuk perekaman dan pengambilan data secara *real-time* yang dilakukan secara jarak jauh. Data yang dikumpulkan dari berbagai sensor tersebut

dikirimkan ke *server* dan hasil pengukuran dapat dilihat melalui *website* yang dirancang khusus untuk menampilkan informasi secara lengkap. Dengan sistem IoT, data dari gua Leang-Leang dapat dipantau secara *real-time* dan jarak jauh, yang memungkinkan pengumpulan informasi tanpa kehadiran fisik di lokasi. Hal ini sangat efisien dalam hal waktu dan sumber daya. Selain itu, data yang diperoleh dapat digunakan untuk menjaga dan melindungi situs bersejarah dari kerusakan lingkungan, seperti pemantauan suhu, kelembapan, dan tingkat polusi udara (SO₂), yang membantu dalam upaya konservasi.

I.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

I.2.1 Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini antara lain:

1. Merancang dan membuat sistem pemantauan lingkungan berbasis IoT untuk konservasi cagar budaya Leang-Leang Kabupaten Maros
2. Mengkalibrasi sensor suhu dan kelembapan DHT 22, sensor debu ZH03B, sensor kecepatan angin, dan sensor sulfur dioksida MQ-136 pada sistem pemantauan lingkungan berbasis IoT untuk konservasi cagar budaya Leang – Leang Kabupaten Maros
3. Menganalisis data hasil pengukuran sensor suhu dan kelembapan DHT 22, sensor debu ZH03B, sensor kecepatan angin, dan sensor sulfur dioksida MQ-136 pada sistem pemantauan lingkungan berbasis IoT untuk konservasi cagar budaya Leang – Leang Kabupaten Maros

I.2.2 Manfaat Penelitian

Manfaat dilaksanakannya penelitian ini antara lain:

1. Meningkatkan teknologi dalam konservasi dengan mengintegrasikan berbagai sensor dan sistem pemantauan berbasis IoT untuk pengelolaan dan perlindungan yang lebih efektif terhadap cagar budaya.
2. Memungkinkan pemantauan terus-menerus terhadap kondisi lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan kualitas udara secara *real-time*.
3. Menyediakan data yang bermanfaat bagi penelitian lanjutan mengenai dampak lingkungan terhadap situs budaya dan metode konservasi yang efektif.

BAB II

METODE PENELITIAN

II.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan April - Agustus 2024, bertempat di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, dan di Taman Arkeologi Leang-Leang, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan.

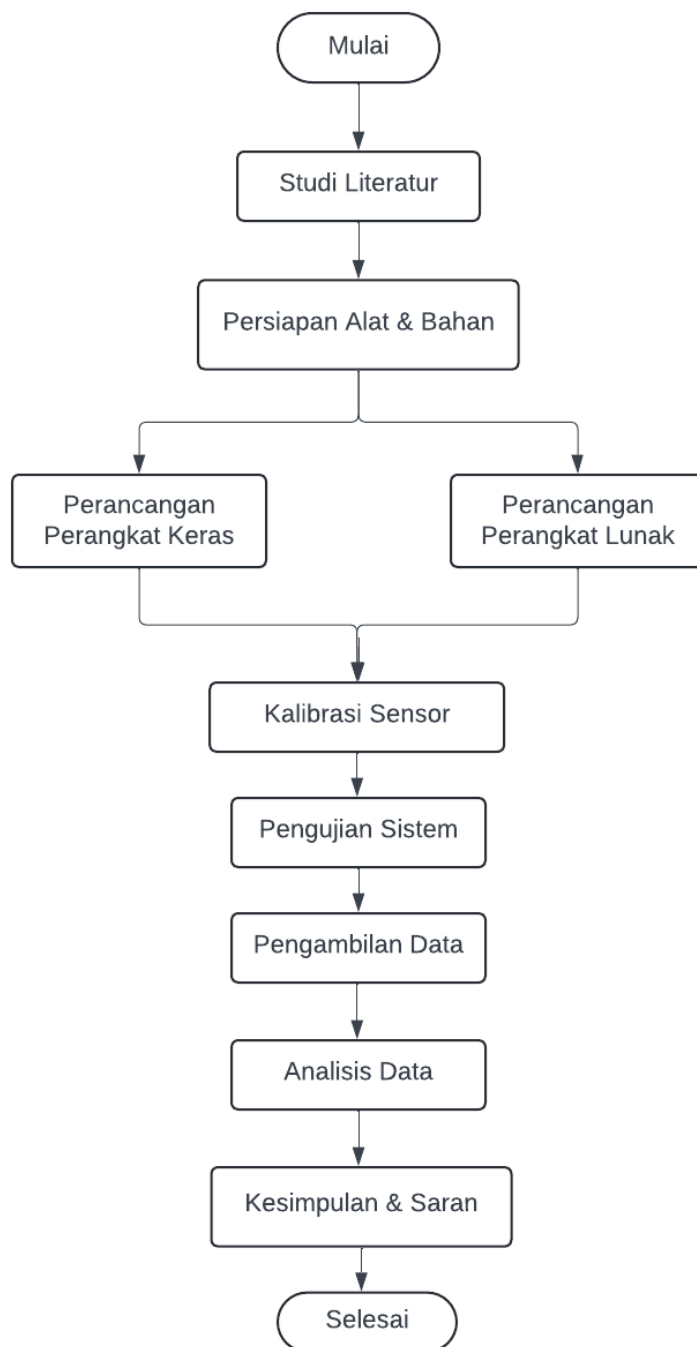
II.2 Peralatan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Laptop
2. Sensor suhu dan kelembapan (DHT 22)
3. Sensor gas sulfur dioksida SO_2 (MQ-136)
4. Sensor debu (ZH03B)
5. Sensor kecepatan angin (Anemometer)
6. Mikrokontroler Arduino Uno
7. LoRa *Transmitter*
8. LoRa *receiver*
9. Kabel *jumper*
10. *Printed Circuit Board* (PCB)
11. *Power bank*
12. Termometer *Hygrometer* digital
13. *Particle counter*
14. Gas Kalibrasi
15. Perangkat lunak (Arduino IDE, *firebase*, dan *website*)

II.3 Metode Penelitian

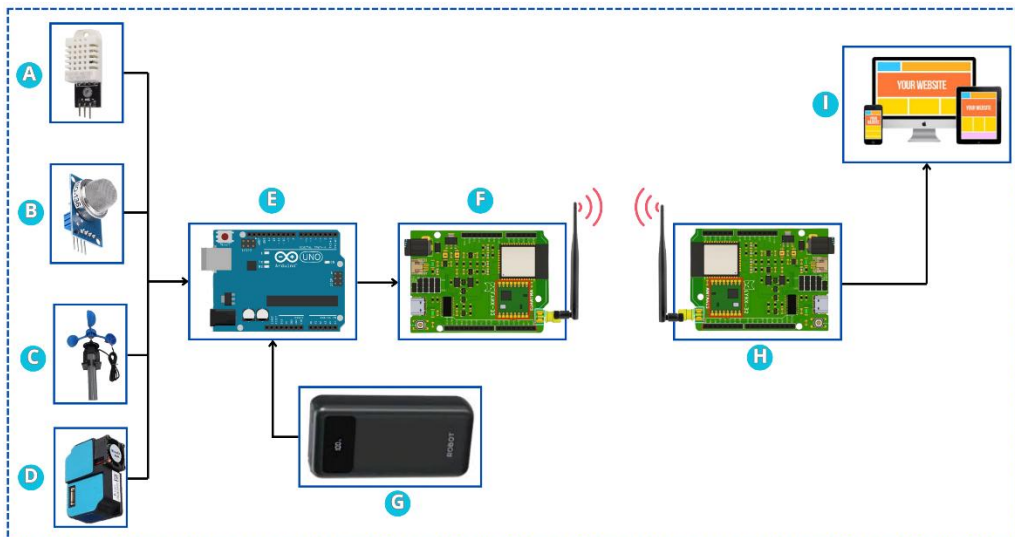
Dalam perencanaan penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yang harus dilakukan, seperti pada Gambar 1. Pada tahapan pertama dimulai dengan studi literatur atau pengumpulan data pustaka yang menjadi acuan dalam penelitian sistem pemantauan lingkungan berbasis IoT untuk konservasi cagar budaya di Leang-Leang Kabupaten Maros. Setelah mengumpulkan sumber acuan, didapatkan masalah yang dapat didefinisikan lalu dibahas sebagai tujuan dari dilakukannya penelitian. Setelah itu dapat dilakukan penyiapan alat dan bahan perangkat keras serta perangkat lunak. Kemudian mulai merancang perangkat keras dan instalasi perangkat lunak berupa Arduino IDE. Setelah itu, dilakukan pengujian alat untuk mengetahui keakuratan dari alat yang telah dirancang. Jika alat tidak berhasil menunjukkan tingkat akurasi yang tepat maka dilakukan kembali perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Jika alat berhasil menunjukkan tingkat akurasi yang tepat maka dapat dilakukan proses analisis data yang diolah untuk menarik kesimpulan dan saran. Berikut langkah-langkah penelitian yang dijelaskan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan penelitian

II.3.1 Perancangan Perangkat Keras

Pada perancangan perangkat keras dilakukan untuk menjelaskan proses semua perangkat terhubung dan dijalankan oleh sistem. Perancangan perangkat keras dapat dilihat pada Gambar .2



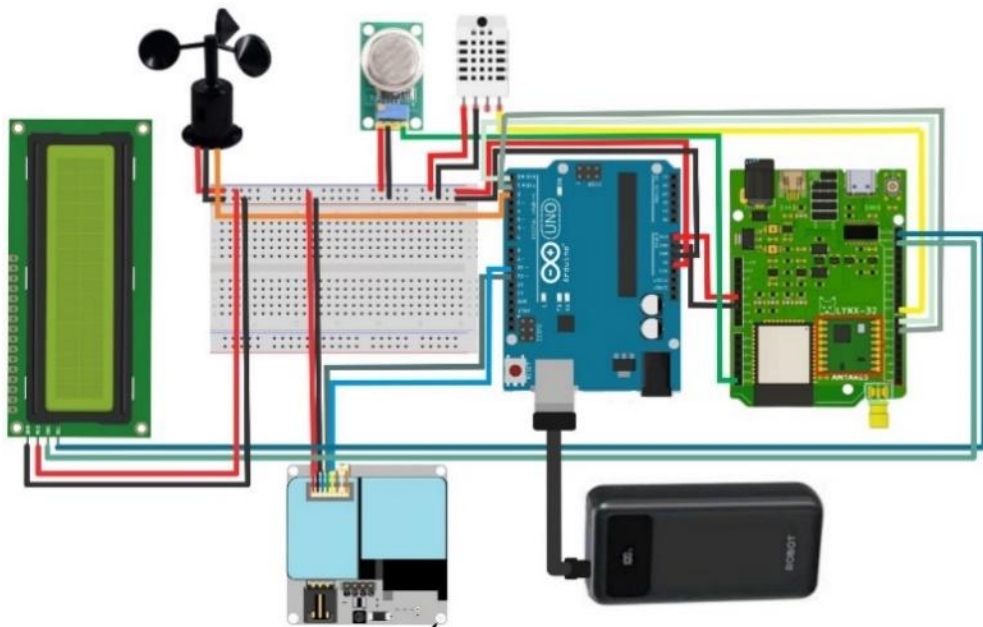
Gambar 2. Diagram blok sistem

- | | |
|---------------------------------------|------------------------------|
| A = Sensor suhu dan kelembapan DHT 22 | F = LoRa <i>Tarnsmmitter</i> |
| B = Sensor gas SO2 MQ-136 | G = <i>Power bank</i> |
| C = Sensor Kecepatan Angin | H = LoRa <i>reicever</i> |
| D = Sensor debu ZH03B | I = <i>Website</i> |
| E = Mikrokontroler Arduino uno | |

Gambar 2 merupakan peancangan perangkat keras dari sistem pemantauan lingkungan berbasis IoT untuk konservasi cagar budaya di Leang-Leang Kabupaten Maros dengan mengukur suhu, kelembapan, curah hujan, kecepatan angin, debu, dan Tingkat SO2. Dapat dilihat dari gambar tersebut ada empat sensor yang digunakan yaitu sensor DHT 22, MQ-136, ZH03B, dan Anemometer. Hasil pengukuran keempat sensor tersebut diolah oleh Mikrokontroler Arduino Uno yang terhubung dengan LoRa *Transmitter* sebagai pengirim dan *power bank* sebagai sumber tegangannya. Selanjutnya LoRa *Transmitter* mengirim data hasil pembacaan sensor tersebut ke LoRa *receiver* yang akan mengirimkan data hasil pengukuran ke *webserver*, kemudian hasil pemacaan sensor tersebut dapat dilihat secara *real-time* melalui *webserver*.

Pada rangkai perangkat keras, keempat sensor tersebut dirangkai menggunakan papan rangkaian seperti pada Gambar 3, dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa masing-masing sensor terhubung dengan Arduino Uno dan LoRa *Tarnsmmitter*. Dimana LoRa *Tarnsmmitter* sendiri berfungsi sebagai pengirim data sensor yang telah diolah oleh mikrokontroler Arduino uno ke LoRa *receiver*

yang terhubung dengan komputer atau laptop. Diagram blok dari perancangan alat dapat dilihat pada Gambar 3.

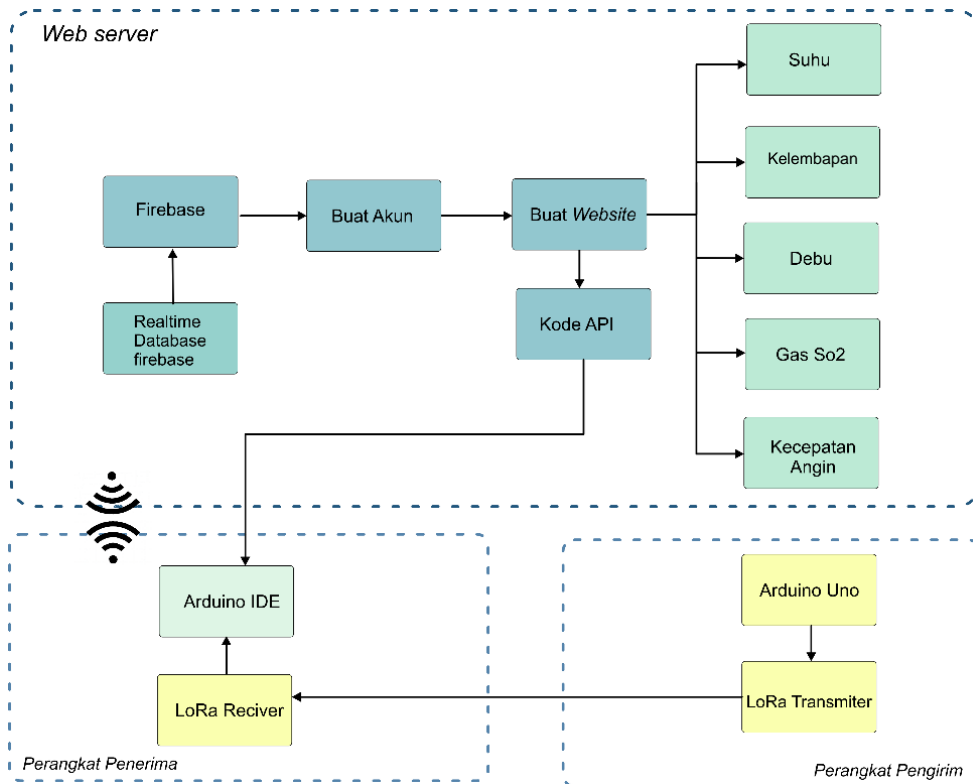


Gambar 3. Rangkaian perangkat keras

II.3.2 Perancangan Perangkat Lunak

Dalam perancangan perangkat lunak dijelaskan pengiriman data sensor dari mikrokontroler Arduino uno, LoRa *Transmitter*, dan LoRa *receiver* ke *webserver*. Proses pengiriman data menggunakan program aplikasi Arduino IDE dan *firebase* yang dijalankan oleh Arduino uno dan dikirim oleh LoRa *Transmitter* ke LoRa *receiver* yang terhubung dengan komputer. Tahap menghubungkan *firebase* dengan *webserver* diperlukan token *application programming interface* (API) sebagai kunci untuk mengidentifikasi akun yang dihubungkan. Adapun untuk menyisipkan kode API ke program Arduino hanya dilakukan satu kali untuk satu *channel*. Cara menghubungkan *firebase* dengan *webserver* yaitu:

- a. Membuat akun *firebase*, karena *webserver* ini merupakan aplikasi untuk *firebase*.
- b. Membuat *hosting* aktif di *webserver* yang telah dibuat
- c. Membuat *database real-time* di akun *firebase*, diagram alur perancangan perangkat lunak dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alur perancangan perangkat lunak

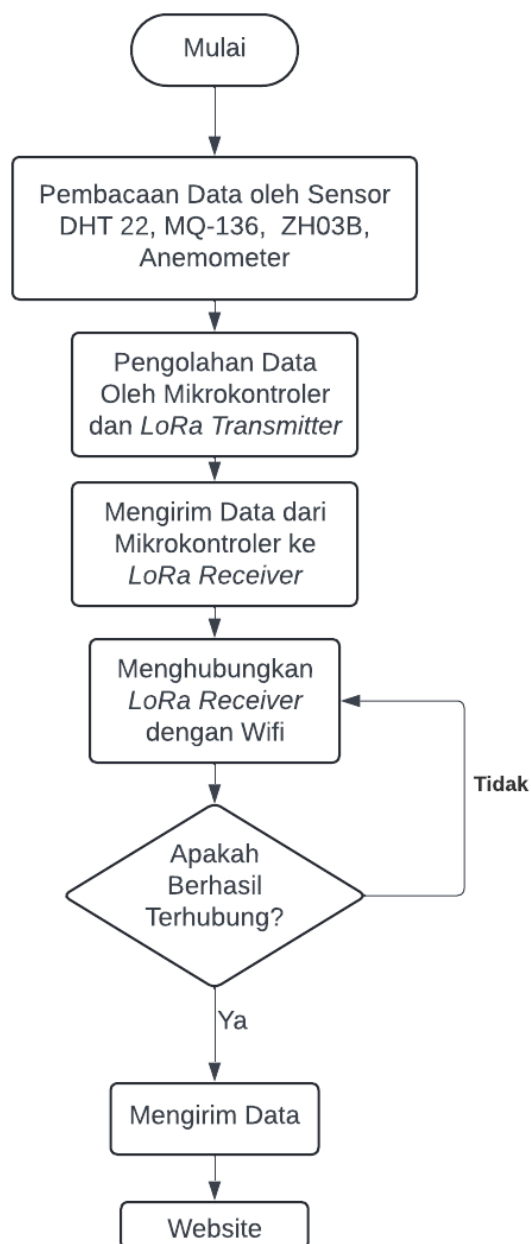
II.3.3 Pengujian Sistem

Pada tahap pengujian sistem, setiap sensor akan dibandingkan dengan alat ukur lain sebagai alat pembanding untuk proses kalibrasi sensor. Kalibrasi sensor bertujuan untuk mendapatkan nilai kesalahan pada sensor yang digunakan dan untuk mendapatkan hasil yang akurat. Setelah dilakukan pengujian pada setiap sensor, selanjutnya dilakukan pengujian terhadap kinerja protokol LoRa untuk mengetahui jangkauan, konfigurasi *spreading factor* dan *bandwidth* yang efisien dalam proses pengambilan data nantinya.

II.4 Bagan Alir Sistem Kerja Alat

Bagan alir penelitian menggambarkan proses jalannya suatu sistem pemantauan lingkungan berbasis IoT untuk konservasi cagar budaya di Leang-Leang, Kab. Maros. Pada tahapan pertama, setelah sensor mengukur semua variabel pengukuran yang dilakukan maka data dari sensor tersebut diolah oleh Arduino uno, kemudian data yang telah diolah oleh Arduino uno dikirim ke komputer melalui LoRa *Tarnsmitter* dan LoRa *receiver*. Sebelum menampilkan data pembacaan ke *webserver* komputer harus terhubung dengan jaringan internet, jika komputer belum berhasil terhubung ke internet, maka data pembacaan sensor secara otomatis tersimpan ke *database*. Kemudian jika komputer sudah terhubung

dengan jaringan internet, maka hasil pembacaan sensor secara otomatis terkirim ke *webserver*. *Flowchart* sistem kerja alat dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 5. Bagan sistem kerja alat