

**PENERAPAN SISTEM TERTANAM DAN *INTERNET OF THINGS*  
DALAM PENGEMBANGAN *AUTOMATIC WEATHER STATION* (AWS)  
TERPADU DI KAWASAN HUTAN MANGROVE PETENGORAN**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Muhammad Rafi Ramadhan  
2015031028**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2025**

## ABSTRAK

### **PENERAPAN SISTEM TERTANAM DAN *INTERNET OF THINGS* DALAM PENGEMBANGAN *AUTOMATIC WEATHER STATION* (AWS) TERPADU DI KAWASAN HUTAN MANGROVE PETENGORAN**

Oleh

**Muhammad Rafi Ramadhan**

Penelitian ini mengembangkan dan menerapkan *Automatic Weather Station* (AWS) berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk memantau atribut iklim di kawasan konservasi hutan mangrove Petengoran, Lampung. Hutan mangrove merupakan ekosistem penting untuk mitigasi perubahan iklim, tetapi mengalami degradasi akibat aktivitas manusia. AWS dirancang untuk menyediakan data iklim yang akurat dan real-time, mendukung analisis perubahan iklim, serta konservasi berkelanjutan.

AWS ini menggunakan ESP32 dan Raspberry Pi 4 sebagai pusat kendali, dilengkapi sensor untuk mengukur suhu, kelembapan, curah hujan, kecepatan dan arah angin, radiasi matahari, serta gas. Data dikumpulkan setiap sepuluh menit, dikirim melalui protokol MQTT, dan divisualisasikan dalam dashboard web. Sistem ini memudahkan pemantauan data di wilayah terpencil.

Hasil penelitian menunjukkan AWS mampu menghasilkan data iklim yang akurat dan relevan untuk konservasi mangrove serta penelitian perubahan iklim. Sistem ini tahan terhadap kondisi lingkungan kompleks dan mempermudah akses data real-time melalui dashboard interaktif.

**Kata Kunci:** *Automatic Weather Station, Internet of Things, Hutan Mangrove Petengoran, Mitigasi Perubahan Iklim, Real-time Monitoring*

## **ABSTRACT**

### **IMPLEMENTATION OF EMBEDDED SYSTEMS AND INTERNET OF THINGS IN THE DEVELOPMENT OF AN INTEGRATED AUTOMATIC WEATHER STATION (AWS) AT PETENGORAN MANGROVE FOREST**

**By**

**Muhammad Rafi Ramadhan**

This study presents the development and implementation of an Internet of Things (IoT)-based Automatic Weather Station (AWS) for monitoring climate attributes in the Petengoran mangrove forest conservation area, Lampung. As vital ecosystems for climate change mitigation, mangrove forests are increasingly threatened by anthropogenic pressures. The proposed AWS aims to deliver accurate, real-time climate data to support environmental analysis and sustainable conservation efforts.

The system integrates ESP32 and Raspberry Pi 4 as control units and is equipped with sensors to measure temperature, humidity, rainfall, wind speed and direction, solar radiation, and gas concentrations. Data is collected at ten minutes interval, transmitted via MQTT protocol, and visualized through a web-based dashboard, enabling efficient and remote environmental monitoring. in remote areas.

Results show that the AWS provides reliable and precise climate data, proving its suitability for mangrove conservation and climate-related research. The system is robust under complex environmental conditions and facilitates real-time data access through an interactive and user-friendly interface.

**Keywords:** Automatic Weather Station, Internet of Things, Petengoran Mangrove Forest, Climate Change Mitigation, Real-Time Monitoring

**PENERAPAN SISTEM TERTANAM DAN *INTERNET OF THINGS*  
DALAM PENGEMBANGAN *AUTOMATIC WEATHER STATION* (AWS)  
TERPADU DI KAWASAN HUTAN MANGROVE PETENGORAN**

**Oleh**

**MUHAMMAD RAFI RAMADHAN**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2025**

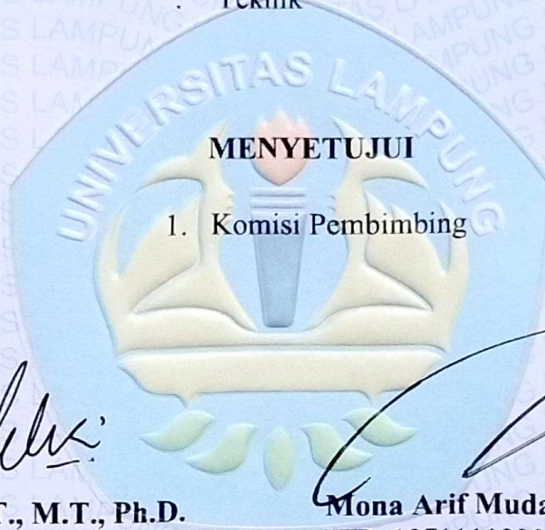
Judul Skripsi : PENERAPAN SISTEM TERTANAM DAN  
*INTERNET OF THINGS* DALAM  
PENGEMBANGAN *AUTOMATIC WEATHER*  
*STATION* (AWS) TERPADU DI KAWASAN  
HUTAN MANGROVE PETENGORAN

Nama Mahasiswa : Muhammad Rafi Ramadhan

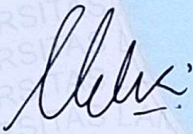
Nomor Pokok Mahasiswa : 2015031028

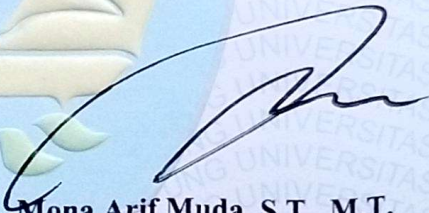
Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik



1. Komisi Pembimbing

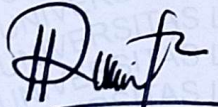
  
Ing. Melvi, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197301182000032001

  
Mona Arif Muda, S.T., M.T.  
NIP. 197111122000031002

2. Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ketua Program Studi Teknik Elektro

  
Herlinawati, S.T., M.T.  
NIP. 197103141999032001

  
Sumadi, S.T., M.T.  
NIP. 197311042000031001



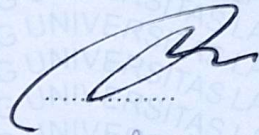
## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

Ketua : Ing. Melvi, S.T., M.T., Ph.D.



Sekretaris : Mona Arif Muda, S.T., M.T.



Penguji : Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc., Ph.D.



### 2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }  
NIP. 197509282001121002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 10 Februari 2025



### SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi yang saya buat dengan judul “Penerapan Sistem Tertanam Dan *Internet of Things* Dalam Pengembangan *Automatic Weather Station* (AWS) Terpadu Di Kawasan Hutan Mangrove Petengoran” dibuat tidak berdasarkan karya yang pernah dilakukan orang lain. Bahwa karya ini tidak terdapat karya lain atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar Pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 10 April 2025



Muhammad Rafi Ramadhan  
NPM. 2015031028

## RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Bandar Lampung, pada tanggal 12 Desember 2001 sebagai anak ketiga dari 5 bersaudara, anak dari bapak Asri Kusuma dan ibu Deasy Meika Zanti. Pendidikan Sekolah Dasar diselesaikan di SD Negeri 2 Beringin Raya pada tahun 2014, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 14 Bandar Lampung diselesaikan pada tahun 2017, dan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 3 Bandar Lampung diselesaikan pada tahun 2020. Pada tahun 2020 saya terdaftar sebagai mahasiswa. di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) selama dua periode kepengurusan, sebagai Anggota Departemen Pendidikan dan Pengembangan Diri (PPD) Divisi Pendidikan pada periode pertama dan Departemen Pengembangan Keteknikan (Bangtek) pada periode kedua. Penulis mengambil konsentrasi Telekomunikasi dan Teknik Informasi pada semester 5 dan secara aktif mengikuti kegiatan penelitian di Labolatorium Telekomunikasi. Penulis pernah mengikuti kegiatan Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) studi independen di Hacktiv8 yang berfokus pada *Data Science*. Selain itu penulis juga mendapatkan pendanaan dari Belmawa pada program Program Penguatan Kapasitas Organisasi Kemahasiswaan (PPK Ormawa), pendanaaan dari universitas pada Program Mahasiswa Wirausaha (PMW), dan pernah memenangkan Scientific Writing competition ICOSITER pada tahun 2022.



## **MOTTO**

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.”

**(QS. Al-Baqarah:286)**

“Jangan menjelaskan tentang dirimu kepada siapa pun. Karena yang menyukaimu tidak butuh itu, dan yang membencimu tidak akan percaya itu.”

**(Ali Bin Abi Thalib)**

“Kebenaran nggak butuh saksi, dia cukup berdiri sendiri”

**(Fiersa Besari)**

“Everything's got time, but time's got everything.”

**(Penulis)**

## **PERSEMBAHAN**

Setiap langkah dalam perjalanan ini adalah jejak cinta, doa, dan pengorbanan.

Untuk itu, dengan penuh rasa syukur, kupersembahkan kepada:

**Papa dan Mama**

Serta

**Kakak-kakakku dan Adik-adikku**

Terima kasih telah membesarkan dan membimbing dengan penuh kasih sayang, selalu memotivasi dan memberi dukungan moril maupun materi, selalu mendoakan kesuksesan Penulis, serta segala bentuk pengorbanan dan semua hal yang telah diberikan kepada Penulis yang tidak akan pernah bisa terbalas, semoga Allah selalu melindungi kalian.

Dan juga rekan-rekan

**Hellios 2020**

**TELTI 2020**

**HIMATRO UNILA**

Terima kasih atas kebersamaan, motivasi, kerjasama, dan rasa kekeluargaan yang luar biasa. Dukungan kalian telah membuat proses studi ini penuh warna dan makna.

## SANWACANA

Puji Syukur bagi Allah SWT atas berkah, rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan judul skripsi **“Penerapan Sistem Tertanam Dan *Internet of Things* Dalam Pengembangan Automatic Weather Station (AWS) Terpadu Di Kawasan Hutan Mangrove Petengoran”** sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Penulis memperoleh bimbingan dan arahan dari berbagai pihak dalam proses penyelesaian skripsi. Sehingga atas kesempatan serta kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
2. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Bapak Sumadi, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung
4. Ibu Ing. Melvi, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen Pembimbing Skripsi yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dengan penuh kesabaran, memberikan arahan, perhatian, motivasi, dukungan, ilmu, dan saran kepada penulis hingga skripsi terselesaikan.
5. Bapak Mona Arif Muda, S.T., M.T. sebagai pembimbing pendamping, yang telah banyak membimbing dan memberi dukungan kepada penulis.
6. Bapak Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Pembimbing Akademik dan juga Dosen Penguji yang telah meluangkan waktu untuk



memberikan arahan, kritik dan motivasi yang membangun kepada penulis sehingga perkuliahan, penelitian dan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

7. Segenap dosen di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu dan pelajaran yang sangat bermanfaat selama menjalani perkuliahan.
8. LBA, sebagai teman-teman yang ikut tumbuh dan berkembang yang selalu menjadi tempat berkeluh kesah, canda tawa, serta memberi motivasi untuk lebih maju lagi.
9. Sahabat dekat ku tim PPK Ormawa Petengoran dan tim Microclimate, yang telah menjadi bagian penting dalam perjuanganku.
10. TELTI'20, terimakasih atas semangat dan kebersamaannya selama menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Elektro.
11. HELLIOS'20, yang telah memberikan banyak motivasi, dan bantuan dalam berbagai hal.
12. Keluarga besar HIMATRO UNILA, yang telah menjadi wadah dalam mengembangkan nilai-nilai organisasi bagi penulis.
13. Seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam proses pembuatan skripsi baik secara langsung maupun tidak langsung.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, akan tetapi penulis berharap semoga skripsi yang sederhana ini dapat memberikan manfaat bagi pembacanya. Semoga segala dukungan, bimbingan, dan doa yang diberikan kepada penulis mendapatkan balasan dari Allah SWT. Aamiin.

Bandar Lampung, 9 April 2025

Muhammad Rafi Ramadhan

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>SURAT PERNYATAAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xvii</b>
 <b>I. PENDAHULUAN .....</b>	 <b>1</b>
1.1 Latar belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
 <b>II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	 <b>8</b>
2.1 Penelitian Terdahulu .....	8
2.2 Mangrove .....	11
2.3 Internet of Things (IoT).....	13
2.4 Sistem Tertanam.....	13
2.5 Automatic Weather Station .....	14
2.6 <i>Single Board Computer</i> .....	15
2.7 Mikrokontroler .....	17
2.8 Sensor .....	18
2.8.1. Sensor Suhu dan Kelembapan .....	18
2.8.2. Sensor Suhu Air.....	19

2.8.3.	Sensor Kecepatan Angin .....	20
2.8.4.	Sensor Curah Hujan.....	21
2.8.5.	Sensor Arah Angin .....	22
2.8.6.	Sensor Gas .....	23
2.8.7.	Sensor Radiasi Matahari (Pyranometer).....	24
2.9	Arduino IDE.....	25
2.10	Node-Red .....	25
2.11	PostgreSQL .....	26
2.12	Dashboard IoT .....	26
2.13	Power over Ethernet (PoE) .....	26
2.14	Kinerja dan Validasi Akuisisi Data Perangkat AWS .....	27
2.15	Data Cleaning .....	28
2.16	Uji Kolmogorov-Smirnov .....	28
2.17	Interquartile Range (IQR).....	28
2.18	Radius Cakupan Perangkat.....	29
<b>III.</b>	<b>METODE PENELITIAN.....</b>	<b>30</b>
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian .....	30
3.2	Komponen dan Perangkat Lunak Penelitian .....	30
3.3	Alur Pelaksanaan.....	31
3.4	Perancangan dan Desain AWS Terpadu .....	32
3.4.1.	Diagram Blok dan Sistem Perangkat.....	33
3.4.2.	Perancangan PCB .....	35
3.4.3.	Kalibrasi Sensor .....	39
3.4.4.	Desain Perangkat .....	40
3.5	Konfigurasi Pada <i>Raspberry Pi</i> .....	43
3.5.1.	Bagian Pewaktuan ( <i>Time Formatter</i> ) .....	43
3.5.2.	Bagian <i>Raspberry Pi</i> .....	43
3.5.3.	Bagian ESP32.....	43
3.5.4.	Bagian Penyimpanan Data .....	44
3.5.5.	Algoritma Konfigurasi Sensor MiCS-4514.....	46
3.5.6.	Algoritma Konfigurasi Sensor <i>Rain Gauge</i> .....	47
3.6	Konfigurasi Pada Mikrokontroler .....	49
<b>IV.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>51</b>
4.1	Realisasi Sistem Konstruksi .....	51



4.2	Realisasi Rangkaian .....	54
4.3	Realisasi <i>Internet of Things</i> .....	56
4.4	Konsumsi Daya .....	58
4.5	Data Hasil Perangkat AWS Terpadu .....	60
4.5.1.	Kinerja Akuisisi Data Perangkat AWS Terpadu .....	60
4.5.2.	Data Sensor SHT85 .....	73
4.5.3	Data Sensor <i>Pyranometer</i> .....	78
4.5.4	Data Sensor Anemometer dan <i>Wind Direction</i> .....	80
4.5.5	Data Sensor Curah Hujan .....	85
4.5.6	Data Sensor DS18B20 .....	86
4.5.7	Data Sensor MiCS-4514 .....	88
<b>V.</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>91</b>
5.1	Kesimpulan .....	91
5.2	Saran .....	92
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>93</b>
	<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>99</b>

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 2.1 Spesifikasi <i>Raspberry Pi</i> .....	16
Tabel 2.2 Spesifikasi ESP32 .....	17
Tabel 2.3 Spesifikasi SHT85 .....	19
Tabel 2.4 Spesifikasi DS18B20 .....	20
Tabel 2.5 Spesifikasi <i>Anemometer</i> .....	21
Tabel 2.6 Spesifikasi <i>Rain Gauge</i> .....	21
Tabel 2.7 Spesifikasi <i>Wind Direction</i> .....	22
Tabel 2.8 Spesifikasi MiCS-4514 .....	23
Tabel 2.9 Spesifikasi <i>Pyranometer</i> .....	24
Tabel 3.1. Komponen dan Perangkat Lunak .....	30
Tabel 3.2 Daftar Penggunaan alat Kalibrasi .....	39
Tabel 4.1 Keberhasilan Akuisisi Data dari Perangkat AWS Terpadu .....	60
Tabel 4.2 Periode Nonaktif Stasiun-1 .....	61
Tabel 4.3 Periode Nonaktif Stasiun-2 .....	63
Tabel 4.4 Jumlah <i>Outlier</i> Pada Data AWS terpadu .....	71
Tabel 4.5 Jumlah Data Bersih dari Perangkat AWS terpadu .....	73

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1 Struktur <i>Embedded System</i> .....	14
Gambar 2.2 <i>Raspberry Pi 4</i> dan ESP 32 WROOM .....	14
Gambar 2.3 <i>Raspberry Pi 4 Model B 2 GB Memory</i> .....	16
Gambar 2.4 Mikrokontroler ESP 32-WROOM-32D .....	18
Gambar 2.5 Sensor SHT85 .....	19
Gambar 2.6 Sensor DS18B20 .....	20
Gambar 2.7 Sensor <i>Anemometer</i> .....	21
Gambar 2.8 Sensor <i>Rain Gauge</i> .....	22
Gambar 2.9 Sensor <i>Wind Direction</i> .....	23
Gambar 2.10 Sensor MiCS-4514 .....	24
Gambar 2.11 Pyranometer .....	25
Gambar 3.1 Diagram Alir Pelaksanaan.....	32
Gambar 3.2 Diagram Alir Proses Perancangan dan Desain Alat.....	33
Gambar 3.3 Diagram Blok AWS Terpadu .....	34
Gambar 3.4 <i>Wiring diagram</i> .....	37
Gambar 3.5 Desain PCB ( <i>Power Layer</i> ).....	39
Gambar 3.6 Desain PCB ( <i>Signal Layer</i> ) .....	39
Gambar 3.7 Desain Perangkat AWS Terpadu Stasiun Pertama.....	41
Gambar 3.8 Desain Perangkat AWS Terpadu Stasiun Kedua .....	42
Gambar 3.9 Node-RED <i>Flow</i> AWS Terpadu .....	45
Gambar 3.10 Algoritma Konfigurasi Sensor MiCS-4514.....	47
Gambar 3.11 Algoritma Konfigurasi Sensor <i>Rain Gauge</i> .....	48
Gambar 3.12 Algoritma Konfigurasi Mikrokontroler.....	49
Gambar 4.1 Realisasi Konstruksi Stasiun-1 .....	52
Gambar 4.2 Realisasi Konstruksi Stasiun-2.....	53
Gambar 4.3 Realisasi Rangkaian Stasiun-1 .....	54
Gambar 4.4 Realisasi Rangkaian Stasiun-2 .....	55
Gambar 4.5 Halaman Utama <i>Dashboard</i> .....	56



Gambar 4.6 <i>Dashboard</i> Perangkat .....	57
Gambar 4.7 Pengukuran Arus Saat Perangkat Hanya Mengumpulkan Data .....	59
Gambar 4.9 Pengukuran Arus Saat Perangkat Melakukan Pembacaan dan Pengiriman Data .....	59
Gambar 4.10 Kode Identifikasi <i>Missing Value</i> Pada Data Kedua Stasiun .....	65
Gambar 4.11 Persentase <i>Missing Value</i> Pada Data Stasiun-1 .....	66
Gambar 4.12 Persentase <i>Missing Value</i> Pada Data Stasiun-2 .....	67
Gambar 4.13 Kode Uji Normalitas <i>Kolmogorov-Smirnov</i> .....	68
Gambar 4.14 Uji Normalitas Stasiun-1 .....	69
Gambar 4.15 Uji Normalitas Stasiun-2 .....	70
Gambar 4.16 Kode Untuk Pengecekan <i>Outlier</i> .....	71
Gambar 4.17 Kode Untuk Pembersihan Data .....	72
Gambar 4.18 Grafik Suhu Sebelum <i>Data Cleaning</i> .....	74
Gambar 4.19 Grafik Suhu Sesudah <i>Data Cleaning</i> .....	75
Gambar 4.20 Grafik Kelembaban Sebelum <i>Data Cleaning</i> .....	76
Gambar 4.21 Grafik Kelembaban Sesudah <i>Data Cleaning</i> .....	77
Gambar 4.22 Grafik Iradiansi Sebelum <i>Data Cleaning</i> .....	78
Gambar 4.23 Grafik Iradiansi Sesudah <i>Data Cleaning</i> .....	79
Gambar 4.24 <i>Wind Rose Diagram</i> Stasiun-1 Sebelum <i>Data Cleaning</i> .....	81
Gambar 4.25 <i>Wind Rose Diagram</i> Stasiun-2 Sebelum <i>Data Cleaning</i> .....	82
Gambar 4.26 <i>Wind Rose Diagram</i> Stasiun-1 Sesudah <i>Data Cleaning</i> .....	83
Gambar 4.27 <i>Wind Rose Diagram</i> Stasiun-2 Sesudah <i>Data Cleaning</i> .....	84
Gambar 4.28 Grafik Curah Hujan Sebelum <i>Data Cleaning</i> .....	85
Gambar 4.29 Grafik Suhu Air Sebelum <i>Data Cleaning</i> .....	86
Gambar 4.30 Grafik Suhu Air Sesudah <i>Data Cleaning</i> .....	87
Gambar 4.31 Grafik Gas Sebelum <i>Data Cleaning</i> .....	88
Gambar 4.32 Grafik Gas Sesudah <i>Data Cleaning</i> .....	90

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Desa Gebang merupakan sebuah desa yang terletak di Kecamatan Teluk Pandan, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung. Dengan posisi astronomis  $104^{\circ}0' - 105^{\circ}14' \text{BT}$  dan  $5^{\circ}07' - 5^{\circ}48' \text{LS}$ . Analisis kajian iklim di Desa Gebang, menunjukkan adanya pola penyebaran curah hujan yang didominasi oleh pola monsoonal, yaitu memiliki satu puncak musim hujan dan satu musim kemarau dalam setahunnya. Pola curah hujan normal selama 30 tahun terakhir (1976-2010) dengan periode musim kemarau cenderung lebih lama dibandingkan musim hujannya. Frekuensi curah hujan tertinggi dari tahun 1976 sampai tahun 2010 sekitar 50-70 mm/dasarian (35%). Periode iklim curah hujan ini tidak berpotensi menyebabkan banjir besar, tetapi bencana alam dapat terjadi karena lingkungan fisik yang tidak mendukung. Suhu udara di Desa Gebang cenderung meningkat sebesar 0,0023/bulan dengan suhu dasar  $31^{\circ}\text{C}$  [1]

Dengan situasi iklim yang sangat mendukung Desa Gebang memiliki salah satu keunikan yang tidak dimiliki oleh seluruh daerah Lampung yaitu hutan mangrove. Ekosistem mangrove merupakan sumber daya alam di wilayah pesisir yang mempunyai sistem ekologi tersendiri, dan telah berperan sebagai tempat masyarakat setempat memperoleh kebutuhan sehari-hari. Berkaitan dengan hal tersebut, kelestarian mangrove merupakan sebuah keniscayaan, agar masyarakat tidak kehilangan mata pencahariannya dan itulah fakta yang terjadi saat ini [2].

Pada saat ini manfaat mangrove selain dinilai sebagai tempat mata pencaharian warga juga memiliki fungsi lain sebagai salah satu penyimpan/pengikat karbon biru (*blue carbon*). Karbon biru merupakan istilah yang merujuk pada karbon yang diserap, disimpan, dan dilepaskan oleh ekosistem pesisir dan laut, seperti

mangrove, padang lamun, dan rawa garam. Eksistensi *blue carbon* dari hutan mangrove menjadi potensi wilayah di Indonesia. penilaian manfaat tambahan dan kombinasi mekanisme berbasis karbon dan pengelolaan berkelanjutan mungkin merupakan cara yang tepat secara global. Dimana dalam aspek ekonomi, Harga karbon antara 4,5 dan 18,0 US\$/tCO<sub>2</sub> untuk 90% hutan bakau yang tersisa. Dan dengan memulihkan hutan bakau dapat menyerap hingga 0,32 PgCO<sub>2</sub> ke atmosfer, dan dapat dicapai dengan harga karbon antara 3,0 dan 13,0 US\$/tCO<sub>2</sub> [3].

Mata pencaharian dan eksistensi *blue carbon* menjadi tujuan utama dalam hal mitigasi perubahan iklim dari hutan mangrove. Hutan mangrove berfungsi sebagai penyimpan karbon, sehingga, kehilangan hutan bakau dapat menyebabkan pelepasan karbon yang signifikan. Sebagai negara dengan tutupan hutan bakau terbesar di dunia, Indonesia memiliki signifikansi global dalam mitigasi perubahan iklim [4]. Sekitar 23% hutan bakau di Indonesia dipertahankan dalam kawasan konservasi dan menyediakan penyimpanan karbon sebesar 0,82–1,09 PgC/hektar. Potensi lebih besar untuk mitigasi perubahan iklim dapat dicapai dengan meningkatkan kawasan konservasi bakau yang mencegah konversi hutan bakau menjadi penggunaan lahan lain [5].

Pengaruh siklon tropis, yang merupakan sistem cuaca yang terbentuk di daerah tropis dan ditandai oleh tekanan udara yang rendah, angin kencang, dan curah hujan yang tinggi, terhadap karakteristik struktural hutan bakau tidak hanya bergantung pada karakteristik badai itu sendiri, tetapi juga dipengaruhi oleh berbagai faktor lain. Faktor-faktor tersebut meliputi karakteristik bentang lahan, struktur tegakan, peristiwa angin sebelumnya, regenerasi sebelum badai, potensi dispersi biji dan propagul setelah badai, kondisi nutrisi, karakteristik spesies individual dalam hutan bakau yang terkena dampak, serta perubahan dalam proses hidrologi yang mungkin terjadi sebelum siklon. Banyak ekosistem bakau secara berkala mengalami angin kencang dan gelombang dari siklon tropis, namun seringkali pulih seiring berjalannya waktu, terus memberikan manfaat sosial, dan menunjukkan kemampuan ekologis untuk bertahan terhadap angin kencang. Dampak yang berulang dan respons yang beragam dari mangrove menunjukkan

ketahanan ekologisnya terhadap angin kencang, menguatkan ide bahwa mangrove merupakan ekosistem yang mampu beradaptasi terhadap gangguan siklon tropis [6].

Dalam bidang meteorologi terdapat berbagai parameter iklim yang diukur. Berbagai jenis data meteorologi tersedia untuk pemantauan dan analisis kondisi udara permukaan dan atas, berikut diantaranya:

- Stasiun Sinoptik Meteorologi (Sinop) yang merupakan stasiun pengamatan cuaca yang melakukan pengukuran berbagai parameter atmosfer secara periodik, biasanya setiap jam. Contoh stasiun ini adalah Sinop ME-48 dan ME-45. Stasiun ini menyediakan data yang meliputi angin, jarak pandang, cuaca, tekanan udara, suhu udara, endapan, perawanan, lapisan awan, penyinaran matahari, dan kondisi tanah. Data dari Sinop sangat penting untuk pemantauan cuaca harian dan mendukung prakiraan cuaca yang akurat.
- *Automatic Weather Station (AWS)*, *Automatic Rain Gauge (ARG)*, dan *Automatic Agroclimatic Weather Station (AAWS)* yang merupakan alat otomatis yang dirancang untuk mengukur kondisi cuaca dan agroklimate secara terus-menerus dan otomatis tanpa memerlukan pengamatan manual. Alat ini dapat memberikan data cuaca, curah hujan, dan agroklimate secara otomatis.
- Pibal/Radiosonde menyajikan data udara atas, termasuk arah dan kecepatan angin, temperatur, dan tekanan udara di atas 1000 kaki.
- Data satelit mencakup citra cuaca dari satelit Himawari, sementara data radar memberikan hasil pengamatan radar cuaca.

Dengan berbagai jenis data ini, pemantauan meteorologi dapat dilakukan secara komprehensif untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang kondisi atmosfer [7].

Pentingnya mitigasi perubahan iklim menjadikan analisis perubahan iklim, khususnya di wilayah mangrove, menjadi hal yang sangat penting. Indikator perubahan iklim dan repons mangrove menjadi hal yang harus ditelaah dan dimanfaatkan untuk kepentingan lingkungan, manusia, dan alam. Sistem

pengembangan *Internet of Things* (IoT) menjadi salah satu pilihan dalam pengawasan parameter iklim secara *real-time* ditengah perkembangan teknologi saat ini. IoT telah memberikan nilai tambah yang signifikan pada produk dan aplikasi dalam beberapa tahun terakhir. Konektivitas perangkat IoT melalui jaringan telah mengurangi konsumsi daya, meningkatkan ketahanan, dan mempermudah akses terhadap data melalui jaringan. IoT memberdayakan berbagai industri dan dianggap sebagai teknologi yang menjanjikan untuk mengangkat analisis data ke tingkat yang lebih tinggi [8].

Kondisi hutan mangrove di Desa Gebang menunjukkan kecenderungan penurunan luasan hutan mangrove, yang mengindikasikan kebutuhan mendesak untuk menjaga stabilitas wilayah hutan. Salah satu indikasi dari hal ini adalah interaksi kompleks antara manusia dan lingkungan alam, salah satunya adalah alih fungsi lahan hutan mangrove menjadi tambak udang. Berdasarkan hal ini Penulis melakukan penelitian dengan judul "Penerapan Sistem Tertanam dan *Internet of Things* (IoT) dalam Pengembangan *Automatic Weather Station* (AWS) terpadu di Kawasan Hutan Mangrove Petengoran". Fokus utama penelitian ini adalah konsep penerapan, implikasi, dan pemantauan perubahan iklim menggunakan *Automatic Weather Station* (AWS). Parameter pengukuran AWS melibatkan kecepatan angin, arah angin, curah hujan, kelembapan udara, tekanan udara, suhu udara, radiasi matahari, dan konsentrasi partikel gas. Kompleksitas sistem dimana data dapat dilihat secara *real-time* dengan pengakuisisian data setiap sepuluh menit, dapat diatasi melalui penggunaan sejumlah sensor dan sistem basis data individual, memastikan akurasi pengukuran dan keamanan data yang optimal. Pengawasan dan akuisisi data ini, dengan demikian, menjadi sumber data yang bermanfaat dalam memahami respons tanaman, cadangan karbon, dan kesehatan tanaman dalam konteks iklim terkini.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana membuat perangkat yang dapat melakukan pemantauan atribut iklim secara *real-time*.

2. Bagaimana integrasi sistem tertanam dan teknologi *Internet of Things* (IoT) dapat diterapkan secara efektif dalam pengembangan *Automatic Weather Station* (AWS) dimana hasil akuisisi data dapat divisualisasikan pada *dashboard*.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan integrasi sistem yang mengimplementasikan sistem tertanam dan *Internet of Things* dengan menggunakan sensor suhu, tekanan dan kelembaban udara, sensor curah hujan, sensor kecepatan angin, sensor arah angin, sensor suhu air, sensor gas, dan radiasi matahari sehingga menjadi suatu AWS terpadu
2. Melakukan akuisisi data pada perangkat AWS terpadu untuk dapat ditampilkan secara *real-time* pada halaman *dashboard*.

### 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perangkat *system processing* yang digunakan adalah *Single Board Computer*, yaitu Raspberry Pi 4
2. Lokasi instalasi perangkat yang telah dibangun adalah daerah konservasi Hutan Mangrove Petengoran.
3. Variabel yang diukur pada perangkat AWS yang dibuat adalah suhu, tekanan dan kelembaban udara, sensor curah hujan, sensor kecepatan angin, sensor arah angin, sensor suhu air, sensor gas, dan radiasi matahari.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Menghasilkan perangkat yang dapat melakukan *monitoring* atribut iklim pada hutan *mangrove*, sehingga dapat dimanfaatkan oleh pihak terkait seperti pengelola hutan mangrove dan pemerintah daerah untuk meningkatkan kualitas pemantauan cuaca di hutan mangrove. Serta menjadi acuan untuk penelitian selanjutnya dengan topik terkait.



## **1.6 Sistematika Penulisan**

Adapun sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini untuk memberikan gambaran sederhana serta mempermudah pemahaman terhadap materi penelitian yang tertulis dalam skripsi adalah sebagai berikut.

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini, dilakukan telaah literatur terkait dengan topik penelitian, berisi tentang teori-teori yang mendukung dari gagasan yang diutarakan serta pengantar pemahaman yang mengacu pada bahan penelitian dari berbagai sumber

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan secara rinci langkah-langkah dan pendekatan yang digunakan dalam penelitian. Hal ini meliputi alur waktu penelitian, peralatan yang digunakan dalam penelitian, serta metode dan skema penelitian yang digunakan.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisikan tentang metode pelaksanaan, pelaksanaan penelitian dan hasil penelitian.

### **BAB V PENUTUP**

Bab ini berisikan kesimpulan yang didapat dari hasil analisa penelitian yang dilakukan penulis, terdapat juga saran yang diberikan penulis setelah menyelesaikan penelitiannya.

### **DAFTAR PUSTAKA**

Memuat daftar sumber kutipan teori - teori yang dijadikan acuan penulis dalam menulis laporan.



## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian skripsi ini dibuat dengan memperhatikan analisa dan hasil dari penelitian sebelumnya dalam beberapa tahun terakhir. Terdapat beberapa penelitian seperti yang pertama yaitu penelitian yang dilakukan oleh Nsabagwa, dkk. pada tahun 2019 dengan judul “*Towards a Robust and Affordable Automatic Weather Station*” [9]. Penelitian ini mengembangkan AWS berbiaya rendah yang dirancang untuk digunakan di wilayah berkembang dengan keterbatasan infrastruktur dan jaringan. Sistem menggunakan mikrokontroler Arduino Uno dan beberapa sensor sederhana seperti DHT11 dan sensor tekanan BMP180. Pengiriman data dilakukan melalui modul GSM/GPRS (SIM800L), sehingga tidak memerlukan koneksi Wi-Fi atau jaringan LAN. Meskipun sistem ini cukup andal untuk pengukuran dasar dan menawarkan solusi hemat daya yang relevan untuk lingkungan terpencil, parameter yang dicakup masih terbatas, dan belum dilengkapi dengan sistem penyimpanan maupun visualisasi data yang komprehensif. Penelitian ini menjadi fondasi penting dalam pengembangan AWS yang terjangkau dan tahan lingkungan, terutama untuk konteks negara berkembang.

Penelitian kedua adalah penelitian yang dilakukan oleh Purnomo, dkk. pada tahun 2019 dengan judul “Perancangan Automatic Weather Station Berbasis ESP8266 dan Blynk”[10] dimana merancang AWS sederhana berbasis ESP8266 untuk mengukur suhu dan kelembapan, dengan data yang dikirim melalui jaringan Wi-Fi dan ditampilkan menggunakan aplikasi Blynk. Meskipun sistem tersebut berhasil menunjukkan kemampuan monitoring secara real-time dengan biaya rendah, cakupan parameter klimatologi yang terbatas dan ketergantungan pada jaringan lokal menjadikan sistem ini kurang ideal untuk diterapkan di wilayah

konservasi terpencil yang membutuhkan pemantauan cuaca yang lebih komprehensif.

Penelitian ketiga adalah penelitian yang dilakukan oleh Abdul-Niby, dkk. pada tahun 2017 dengan judul “*A Low Cost Automated Weather Station for Real Time Local Measurements*” [11]. Penelitian ini merancang AWS berbiaya rendah dengan dua unit terpisah: unit luar ruangan untuk akuisisi data dan unit dalam ruangan untuk menampilkan informasi melalui LCD, serta dukungan visualisasi mobile menggunakan aplikasi Blynk. Sistem ini mampu mengukur parameter dasar seperti suhu, kelembapan, tekanan, angin, dan curah hujan. Namun, sistem masih terbatas pada komunikasi lokal dan belum mendukung pengiriman data ke server atau penyimpanan cloud, sehingga kurang sesuai untuk pemantauan jangka panjang atau kolaboratif dalam skala luas.

Penelitian keempat adalah penelitian yang dilakukan oleh Konstantinos Ioannou, dkk pada tahun 2021 dengan judul “*Low-Cost Automatic Weather Stations in the Internet of Things*” [12]. Penelitian ini membahas penggunaan *Automatic Weather Station* (AWS) untuk mengumpulkan data meteorologi secara otomatis. AWS ini dilengkapi dengan sensor yang mengumpulkan data dan mengirimkannya ke Sistem Pemrosesan Pusat. Kemampuan pencatatan data AWS dicapai melalui sistem data eksklusif. Komunikasi antara AWS dan unit pusat sangat penting untuk pengumpulan dan analisis data yang efektif. Ada berbagai jenis AWS, termasuk yang memerlukan koneksi langsung antara sensor dan AWS atau AWS dan unit pusat. Proses ini dapat dilakukan melalui antarmuka berbasis kabel maupun nirkabel untuk mendukung transfer data. Salah satu teknologi tersebut adalah LoRa, yang merupakan singkatan dari *Long Range*. LoRa memiliki keunggulan dalam komunikasi jarak jauh, yang mencakup jarak berkilo-kilometer, namun membutuhkan daya yang rendah agar perangkat dapat berkomunikasi. Akibatnya, LoRa biasa digunakan dalam penyebaran AWS. Penggunaan Stasiun Cuaca Mikro, yang merupakan solusi AWS yang diperluas dengan memanfaatkan LoRa. Sistem ini memungkinkan pengumpulan data dari iklim tropis. Selain itu, jaringan *mesh* LoRa digunakan untuk mengumpulkan data dari iklim ini. Arsitektur ini memungkinkan pengumpulan dan analisis data yang efisien.

Penelitian kelima adalah penelitian yang dilakukan oleh Herdianzenda, dkk pada tahun 2021 dengan judul “*Design Of Portable Automatic Weather Station Based On Raspberry Pi*” [13]. Penelitian ini membahas tentang pembuatan stasiun cuaca otomatis portabel menggunakan Raspberry Pi. Stasiun cuaca ini dilengkapi dengan sensor suhu, kelembaban, penghitung hujan, arah dan kecepatan angin, tekanan udara, ketinggian, dan GPS. Data yang ditampilkan dapat dipantau melalui web dalam bentuk Analog Gauge. Lalu, dilakukan pengujian di tiga tempat berbeda dengan hasil prototipe sistem AWS dapat mendeteksi kondisi cuaca hujan atau cerah serta semakin tinggi lokasi pengujian maka semakin besar kecepatan anginnya. Namun, sistem ini belum mengadopsi komunikasi data yang efisien seperti protokol MQTT, dan visualisasi masih mengandalkan template standar dari Node-RED dashboard.

Perbedaan penelitian ini dengan berbagai studi terdahulu terletak pada kelengkapan parameter yang diukur, integrasi sistem, metode komunikasi data, dan sistem visualisasi. Beberapa penelitian sebelumnya seperti oleh Nsabagwa, Purnomo, dan Abdul-Niby telah merancang AWS sederhana dengan jumlah sensor terbatas dan visualisasi data yang masih bersifat lokal atau berbasis aplikasi pihak ketiga seperti Blynk. Sementara itu, penelitian seperti oleh Ioannou dan Herdianzenda telah mengembangkan sistem yang lebih kompleks dengan pendekatan multipoint dan visualisasi berbasis web. Namun, belum ada penelitian yang secara bersamaan mengintegrasikan sistem sensor lengkap (termasuk irradiansi matahari dan suhu air), menggunakan komunikasi MQTT, serta menyediakan dashboard web custom dengan penyimpanan data cloud untuk pemantauan jangka panjang di kawasan konservasi mangrove. Hal inilah yang menjadi pembeda utama dari penelitian ini.

## **2.2 Mangrove**

Hutan mangrove merupakan ekosistem dan penyangga lingkungan yang penting bagi daerah yang berada di wilayah pesisir. Mangrove merupakan tumbuhan berkayu yang toleran terhadap air asin yang terdiri dari semai, pohon, dan perdu serta dapat tumbuh dan berkembang di daerah intertidal tropis dan pantai subtropis dengan kekuatan gelombang yang rendah [14]. Ekosistem mangrove



memiliki peran penting dalam menghadapi dampak perubahan iklim. Hal ini disebabkan oleh kemampuan mangrove dalam memitigasi gelombang badai dan banjir serta kapasitas penyerapan dan penyimpanan karbon yang tinggi [15]. Laju dekomposisi tercepat rata-rata 0,27 g/hari, dan yang paling lambat rata-rata 0,14 g/hari [16].

Lahan basah ekosistem mangrove terletak di antara daratan dan lautan yang merupakan ekosistem yang sensitif tidak hanya terhadap perubahan lingkungan fisik tetapi juga terhadap proses antropogenik urbanisasi dan pembangunan ekonomi. Upaya konservasi hutan mangrove sangat terkait dengan perubahan iklim, oleh sebab itu meningkatkan pengetahuan dan pemahaman masyarakat dapat menjadi pilihan yang tepat [17]. Agar ekosistem mangrove tetap lestari, kegiatan pembangunan dan pengembangan di sekitar kawasan hutan mangrove perlu dibarengi dengan upaya konservasi, rehabilitasi, dan bahkan restorasi bagi kawasan yang rusak. Mangrove berperan sebagai pengatur suhu karena adanya akumulasi radiasi matahari pada substrat yang memiliki kandungan air yang tinggi, yang secara konstan diperbaharui oleh pasang surut air laut, dan selalu tersedia untuk digunakan oleh tanaman dalam proses penguapan. Oleh karena itu, data mengenai partisi energi radiasi di hutan mangrove sangat penting untuk memahami proses-proses yang mengendalikan iklim mikro lingkungan. Struktur dan fungsi mangrove bergantung pada stabilitas lingkungan fisik. Namun, lingkungan fisik mengalami tekanan yang disebabkan oleh tindakan antropis, termasuk perubahan iklim mikro. Selain itu, hutan bakau juga penting untuk perlindungan pantai dari angin dan gelombang badai tropis.

Menurut Alongi hutan bakau dan semak belukar, atau mangrove, membentuk ekosistem intertidal yang penting yang menghubungkan sistem daratan dan lautan dan menyediakan barang dan jasa ekosistem yang berharga. Penurunan luas hutan terus berlanjut, disebabkan oleh konversi untuk pertanian, akuakultur, pariwisata, pembangunan perkotaan, dan eksploitasi berlebihan [18]. Hutan-hutan tersebut mengalami penurunan dengan laju yang lebih cepat dibandingkan dengan hutan tropis pedalaman dan terumbu karang. Prediksi menunjukkan bahwa 30%-40% lahan basah pesisir dan 100% hutan bakau dapat hilang dalam 100 tahun ke depan

jika laju kehilangan saat ini terus berlanjut. Akibatnya, barang dan jasa ekosistem yang penting (misalnya, penghalang alami, penyerapan karbon, keanekaragaman hayati, dll.) yang disediakan oleh hutan bakau akan berkurang atau hilang [19].

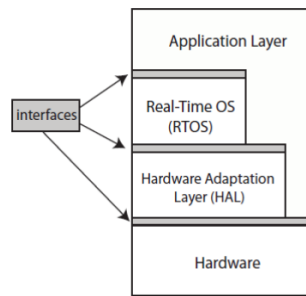
### 2.3 Internet of Things (IoT)

*Internet of Things* (IoT) telah menjadi konsep teknologi yang merambah ke berbagai aspek kehidupan. IoT mengacu pada sistem jaringan perangkat fisik, seperti sensor, perangkat elektronik, perangkat lunak, dan objek lainnya yang terkoneksi secara mandiri melalui internet. Melalui konektivitas ini, perangkat-perangkat tersebut dapat secara otomatis mengumpulkan dan bertukar data tanpa perlu campur tangan manusia [20].

Penerapan IoT dalam lingkungan stasiun klimatologi mikro telah memberikan kemajuan yang signifikan dalam pengumpulan data cuaca dan iklim di lokasi spesifik, terutama di wilayah hutan mangrove Petengoran. Dengan kehadiran teknologi IoT, proses pengumpulan data cuaca menjadi semakin efisien dan akurat, mengeliminasi ketergantungan pada campur tangan manusia secara manual. Pada umumnya teknologi IoT dikembangkan dengan menggunakan pendekatan sistem tertanam (*embedded system*).

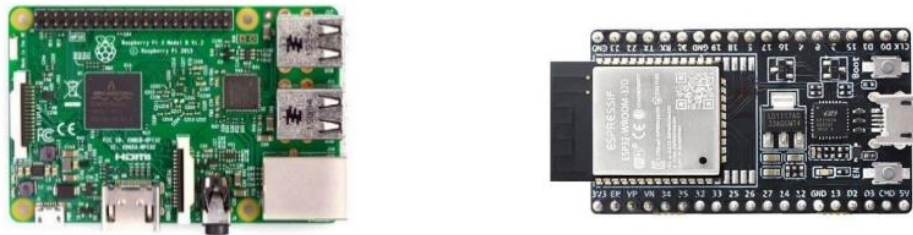
### 2.4 Sistem Tertanam

Sistem tertanam atau *embedded system* adalah sistem yang dikontrol secara elektronik dengan integrasi perangkat keras dan perangkat lunak untuk melakukan tugas tertentu dalam lingkungan komputasi. Aplikasi sistem tertanam pada umumnya terdiri dari beberapa lapisan dan tugas pengguna, yang memiliki fungsi berbeda. Sistem tertanam umumnya menggunakan mikroprosesor yang menggabungkan beberapa fungsi komputer pada satu perangkat [18]. Gambar 2.1 menunjukkan struktur khas sistem tertanam dalam empat lapisan, dimana tiga lapisan pertama terdiri dari perangkat lunak, dan lapisan keempat terdiri dari satu lapisan perangkat keras.



Gambar 2.1 Struktur *Embedded System* [21]

Biasanya sebuah *embedded system* memiliki tujuan khusus ketika dibuat yaitu untuk pengendalian pada peralatan tertentu sehingga tidak bisa digunakan untuk aplikasi lainnya. Gambar 2.2 merupakan contoh perangkat *embedded system* dengan IC mikroprosesor atau mikrokontroler di dalamnya berserta komponen pendukung lainnya agar dapat terhubung dengan sumber tegangan dan perangkat Input dan Output [22]. Dalam skripsi ini, teknologi IoT berbasis *embedded system* dijadikan acuan dalam pengembangan *Automatic Weather Station* di kawasan Hutan Mangrove Petengoran.



Gambar 2.2 *Raspberry Pi 4* dan *ESP 32 WROOM* [22]

## 2.5 Automatic Weather Station

*Automatic Weather Station* (AWS) adalah alat pengukur cuaca otomatis, yang merekam parameter cuaca dengan berbagai jenis sensor, baik yang elektrik, magnetik, mekanik, infra merah, ultrasonic, atau gabungan. Alat pengukur cuaca otomatis adalah unit peralatan yang mampu melakukan pengukuran unsur-unsur cuaca yang meliputi radiasi matahari, suhu udara, tekanan udara, arah dan kecepatan angin, kelembapan udara dan curah hujan secara otomatis [23]. Menurut penyajian datanya, AWS dikelompokkan menjadi *real-time* dan *off-time*:

1. *Real-time* AWS, yaitu sistem yang penyajian datanya dilakukan secara *real-time*. Sistem model ini dapat dilengkapi dengan sistem komunikasi,

berupa alarm untuk memberikan peringatan khusus bila terjadi kondisi cuaca yang ekstrim atau berbahaya, seperti badai, hujan lebat, suhu tinggi dan sebagainya.

2. *Off-time* AWS, yaitu sistem yang hanya merekam data serta menyimpannya pada suatu media penyimpanan atau data logger. Data yang ditampilkan adalah data aktual. Data yang disimpan tersebut dapat diunduh sewaktu-waktu sesuai keperluan [24].

Operasional AWS biasanya dikendalikan oleh satu atau lebih mikroprosesor atau mikrokontroller beserta peripheral dan komponen lainnya yang membentuk sebuah unit pemrosesan dan komputasi *single board computer*.

## **2.6 *Single Board Computer***

*Single board computer* (SBC) adalah komputer yang dibangun di atas papan sirkuit utama yang biasanya mencakup sebuah mikroprosesor (atau dapat pula banyak), RAM, dan unit I/O. Ini semua adalah persyaratan minimal untuk memiliki komputer yang berfungsi penuh. *Single board komputer* dapat digunakan untuk banyak hal, mulai dari untuk keperluan pendidikan atau demo, pengembangan purwarupa produk, pengendali komputer tertanam (*embedded*) atau sebagai perangkat media streaming. Ada banyak produk *single board computer* yang telah berkembang atau beredar di pasaran dan telah digunakan untuk berbagai tujuan tersebut. Di antaranya berasal dari keluarga Beagleboard, Odroid, pcDuino, Orange Pi, Banana Pi, Raspberry Pi, maupun ratusan keluarga SBC lainnya. SBC Raspberry Pi digunakan dalam studi yang dilakukan untuk pembangunan AWS ini, dimana spesifikasinya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Spesifikasi *Raspberry Pi* [25]

Tegangan Kerja	5V
Prosesor	Quad-core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz
RAM	4GB
GPIO	40 Pin
Suhu Kerja	0– 50°C

Penggunaan Raspberry Pi 4 Model B 2 GB Memory (Gambar 2.3) dalam studi ini didasarkan pada beberapa alasan utama. Raspberry Pi merupakan komputer berukuran kecil yang memiliki berbagai fungsi, sehingga cocok untuk digunakan dalam proyek penelitian seperti *Automatic Weather Station* (AWS) yang membutuhkan perangkat kompak namun andal. Raspberry Pi memiliki kemampuan komputasi yang memadai untuk menangani pengolahan data dari berbagai sensor, meskipun dengan kapasitas memori yang relatif kecil. Selain itu, perangkat ini dilengkapi dengan antarmuka dan *port* yang cukup lengkap, memungkinkan integrasi yang mudah dengan berbagai sensor dan komponen lainnya. Kemampuan ini dapat dikustomisasi sesuai kebutuhan sistem yang dirancang. Keunggulan lain adalah dukungan dari komunitas pengguna Raspberry Pi yang besar, sehingga mempermudah penyelesaian masalah teknis dan *troubleshooting* melalui dokumentasi atau bantuan daring. Faktor-faktor tersebut menjadikan Raspberry Pi pilihan yang ideal sebagai pusat kontrol dalam pengembangan sistem AWS terpadu pada studi ini.



Gambar 2.3 Raspberry Pi 4 Model B 2 GB Memory [26]

## 2.7 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah komponen pengendali yang dikemas dalam bentuk chip IC (*integrated circuit*) yang dirancang untuk melakukan tugas atau fungsi tertentu. Pada dasarnya, rangkaian mikrokontroler terdiri dari satu atau lebih inti prosesor (CPU), memori, dan perangkat input dan output yang dapat diprogram [27]. Alasan mengapa tetap menggunakan mikrokontroler meskipun sudah menggunakan *single board computer* sendiri adalah karna terdapat kebutuhan port khusus dari sensor yang tidak dimiliki oleh Raspberry Pi, kemudian agar mengurangi beban kerja Raspberry Pi agar data hasil pengukuran dapat di transmisi dengan baik, dan mikrokontroler disini hanya berperan untuk mengatur sensor-sensor.

ESP32 merupakan sebuah perangkat mikrokontroler yang dikemas dalam bentuk chip IC (*Integrated Circuit*) dan dirancang untuk melakukan sebuah tugas tertentu. ESP32 merupakan penerus dari mikrokontroler ESP8266 yang dikenalkan oleh sebuah perusahaan bernama Espressif System. Mikrokontroler ini menggunakan *chip* ESP32-WROOM-32D. Chip ini terdiri dari modul Wifi, *Bluetooth*, dan *Bluetooth* LE MCU generik yang kuat yang menargetkan berbagai aplikasi, mulai dari jaringan sensor berdaya rendah hingga tugas yang paling menuntut, seperti suara encoding, streaming musik, dan decoding MP3 [28]. Spesifikasi teknis dari ESP32 dapat dilihat pada Tabel 2.2. Selain itu, bentuk fisik dari modul ESP32 ditampilkan pada Gambar 2.4 sebagai referensi visual perangkat yang digunakan.

Tabel 2.2 Spesifikasi ESP32 [28]

Tegangan Kerja	2,3V – 3,6V
Prosesor	Dual-core Xtensa® 32-bit LX6, hingga 240 MHz
RAM	520 KB SRAM
Wi-Fi	IEEE 802.11 b/g/n, mendukung hingga 150 Mbps



Antarmuka Periferal	UART (3x), SPI (4x), I2C (2x), I2S (2x), PWM, ADC (12-bit, hingga 18 channel), DAC (2x)
---------------------	---



Gambar 2.4 Mikrokontroler ESP 32-WROOM-32D [29]

## 2.8 Sensor

Sensor merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi perubahan pada berbagai besaran fisik, seperti tekanan, gaya, besaran listrik, cahaya, gerak, kelembaban, suhu, kecepatan, dan fenomena lingkungan lainnya. Setelah mendeteksi perubahan, data masukan yang diperoleh akan diubah menjadi data keluaran yang dapat dipahami oleh pengguna melalui perangkat sensor itu sendiri atau dikirimkan secara elektronik melalui jaringan untuk diolah menjadi informasi yang bermanfaat bagi pengguna [30]. Jenis sensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

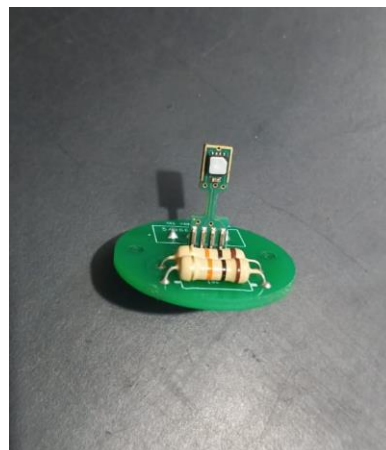
### 2.8.1. Sensor Suhu dan Kelembapan

Sensor SHT85 merupakan sensor suhu dan kelembaban yang diproduksi oleh Sensirion, Sensor ini didasarkan pada sensor SHT85 yang sangat akurat dengan stabilitas jangka panjang yang merupakan inti dari platform kelembapan dan suhu Sensirion yang baru. Sensor ini memiliki tingkat akurasi yang tinggi, yaitu  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  untuk suhu dan  $\pm 1.5\%$  untuk kelembapan. Sensor ini menggunakan antarmuka I2C sehingga sangat kompatibel dengan platform Arduino, Raspberry Pi, dan mikrokontroler lainnya yang memiliki fitur antarmuka I<sup>2</sup>C. Dengan rentang

parameter yang cukup luas dimana untuk suhu  $-40^{\circ}\text{C}$  hingga  $105^{\circ}\text{C}$  dan kelembapan 0 – 100% RH. Dan untuk tegangan masukan cukup fleksibel dalam rentang 2.15 - 5.5 V. Karena sensor ini cocok untuk berbagai aplikasi, mulai dari aplikasi sederhana hingga aplikasi yang kompleks. Dengan tingkat akurasi yang tinggi, rentang pengukuran yang luas, dan antarmuka I2C yang kompatibel oleh karena itulah sensor ini dipilih [31]. Spesifikasi teknis dari SHT85 yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.3. Selain itu, bentuk fisik dari sensor SHT85 ditampilkan pada Gambar 2.5 sebagai referensi visual perangkat.

Tabel 2.3 Spesifikasi SHT85 [31]

Tegangan Kerja	2.15 V – 5.5 V
Kelembaban	0 – 100 %RH
Akurasi Kelembaban	$\pm 1.5$ %RH
Suhu	$-40 - 105^{\circ}\text{C}$
Akurasi Suhu	$\pm 0.1$ $^{\circ}\text{C}$
<i>Interfaces</i>	I <sup>2</sup> C



Gambar 2.5 Sensor SHT85 [Dokumentasi Pribadi]

### 2.8.2. Sensor Suhu Air

Sensor DS18B20 merupakan sebuah perangkat sensor suhu digital yang diproduksi oleh perusahaan Maxim Integrated. Sensor ini menggunakan protokol komunikasi 1-Wire, sehingga hanya memerlukan satu pin untuk berkomunikasi dengan mikrokontroler. Akurasi dari sensor DS18B20 mencapai  $0,5^{\circ}\text{C}$  dan

mampu mengukur rentang suhu mulai dari  $-55^{\circ}\text{C}$  hingga  $125^{\circ}\text{C}$ . Fitur yang menarik dari sensor ini adalah kemampuannya dalam melakukan pengulangan suhu, yang memungkinkannya untuk mengukur suhu dengan presisi yang lebih tinggi. Tidak mengherankan jika sensor DS18B20 menjadi salah satu sensor suhu digital yang sangat populer di seluruh dunia, dan telah diaplikasikan dalam berbagai bidang, seperti sistem pemantauan suhu, sistem kontrol suhu, dan sistem pengatur suhu [30]. Spesifikasi teknis dari sensor DS18B20 yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.4. Selain itu, bentuk fisik dari sensor DS18B20 ditampilkan pada Gambar 2.6 sebagai referensi visual perangkat.

Tabel 2.4 Spesifikasi DS18B20 [32]

Tegangan Kerja	3.0 V – 5.5 V
Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )	$-55^{\circ}\text{C}$ – $125^{\circ}\text{C}$
Suhu ( $^{\circ}\text{F}$ )	$-67^{\circ}\text{F}$ – $257^{\circ}\text{F}$
Akurasi	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ dari $-10^{\circ}\text{C}$ ke $+85^{\circ}\text{C}$



Gambar 2.6 Sensor DS18B20 [Dokumentasi Pribadi]

### 2.8.3. Sensor Kecepatan Angin

Sensor kecepatan angin digunakan untuk mengukur seberapa cepat angin bergerak pada suatu lokasi. Dalam studi ini, digunakan sensor tipe anemometer cangkir yang bekerja berdasarkan prinsip mekanis. Seluruh mangkuk berada dalam arah melingkar, sehingga rotor berputar ke arah yang tetap saat ada angin. Kecepatan putaran rotor tergantung pada kecepatan angin. Rotasi rotor melalui sistem roda gigi mekanis mengatur sistem angka yang menunjukkan jarak angin bertiup [33]. Sensor ini dipilih karena dibutuhkan nya sensor yang dapat membaca kecepatan

angin sebagai salah satu parameter klimatologi. Spesifikasi teknis dari anemometer yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.5. Selain itu, bentuk fisik dari anemometer ditampilkan pada Gambar 2.7 sebagai referensi visual perangkat.



Gambar 2.7 Sensor *Anemometer* [Dokumentasi Pribadi]

Tabel 2.5 Spesifikasi *Anemometer* [34]

Tegangan Kerja	12V – 24V
Signal Output	0V – 5V
Efektivitas Kerja	0 m/s – 60 m/s
Sensitivitas	0.1 m/s
Sistem Error	$\pm 3\%$

#### 2.8.4. Sensor Curah Hujan

Sensor *Rain Gauge* merupakan alat penginderaan digital yang mengadopsi teknologi canggih untuk memantau curah hujan dengan menggunakan sensor magnetik. Alat ini memiliki kemampuan untuk mengukur volume curah hujan dalam satuan inchi per hujan maupun mm per hujan [35]. Pemilihan sensor ini dilakukan karena kebutuhan akan alat yang mampu membaca intensitas curah hujan sebagai salah satu parameter klimatologi. Spesifikasi teknis dari *Rain Gauge* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.6. Selain itu, bentuk fisik dari *Rain Gauge* ditampilkan pada Gambar 2.8 sebagai referensi visual perangkat.

Tabel 2.6 Spesifikasi *Rain Gauge* [36]

Tegangan Kerja	3.3 - 5.5V DC
Signal Output	I2C/UART

Ukuran Tipping Bucket	0 m/s – 60 m/s
Resolusi	0.28 mm
Suhu Kerja	–45 – 85°C



Gambar 2.8 Sensor *Rain Gauge* [36]

#### 2.8.5. Sensor Arah Angin

Sensor arah angin merupakan perangkat sensor yang difungsikan untuk mengukur dan menentukan arah angin. Sensor ini menggunakan baling-baling yang berputar saat tertiuip angin, dan pergerakan baling-baling tersebut diubah menjadi sinyal listrik guna memberikan informasi mengenai arah angin. Data hasil pengukuran arah angin biasanya dinyatakan dalam bentuk angka, merepresentasikan sudut antara 0 derajat (arah utara) hingga 360 derajat (arah utara kembali) [37]. Arah angin merupakan salah satu parameter yang diperhitungkan dalam klimatologi sehingga sensor ini digunakan. Spesifikasi teknis dari sensor arah angin yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.7. Selain itu, bentuk fisik dari anemometer ditampilkan pada Gambar 2.9 sebagai referensi visual perangkat.

Tabel 2.7 Spesifikasi *Wind Direction* [38]

Tegangan Kerja	9V – 24V
Signal Output	0V – 5V
Efektivitas Kerja	0 – 360° <i>azimuth-round</i> 16
Sistem Error	± 3%



Gambar 2.9 Sensor *Wind Direction* [Dokumentasi Pribadi]

#### 2.8.6. Sensor Gas

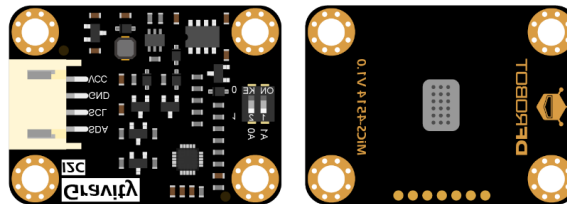
MiCS-4514 merupakan sensor gas MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) yang mampu mendeteksi berbagai konsentrasi gas seperti CO (Karbon Monoksida), Alkohol ( $C_2H_5OH$ ),  $H_2$  (Hidrogen),  $NO_2$  (Nitrogen Dioksida), dan  $NH_3$  (Ammonia). Sensor ini kompatibel dengan tegangan 3,3/5V dan dapat digunakan dengan Arduino, ESP32, Raspberry Pi, dan kontroler utama lainnya [39]. Sensor ini mendukung deteksi berbagai gas berbahaya dan mengintegrasikan formula konversi konsentrasi gas dalam kode untuk pengujian dan penggunaan sensor yang mudah. Perlu diingat bahwa hasil dari deteksi gas sensor ini dapat digunakan untuk berbagai aplikasi, termasuk pemantauan kualitas udara, keselamatan lingkungan, dan peningkatan kualitas hidup manusia dengan mencegah paparan gas berbahaya. Karna alasan itulah mengapa sensor ini diperlukan dalam stasiun klimatologi ini. Spesifikasi teknis dari sensor MiCS-4514 yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.8. Selain itu, bentuk fisik dari MiCS-4514 ditampilkan pada Gambar 2.10 sebagai referensi visual perangkat.

Tabel 2.8 Spesifikasi MiCS-4514 [40]

Tegangan Kerja	3.3V
Suhu operasi	-30°C hingga 85°C
<i>Interfaces</i>	I <sup>2</sup> C
Jenis gas yang dapat dideteksi	Karbon monoksida, nitrogen dioksida, hidrogen, amonia, metana, dan propane
Rentang konsentrasi	1-1000 ppm untuk karbon monoksida, 0,05-10 ppm untuk



	nitrogen dioksida, 10-500 ppm untuk hidrogen, 1-500 ppm untuk amonia, dan >1000 ppm untuk metana dan propane
--	--



Gambar 2.10 Sensor MiCS-4514 [40]

### 2.8.7. Sensor Radiasi Matahari (Pyranometer)

Pyranometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur tingkat radiasi matahari atau irradiansi matahari. Pyranometer memiliki sensor yang mengukur kerapatan fluks elektromagnetik radiasi matahari dalam satuan watt per meter persegi dan digunakan untuk mengukur tingkat radiasi atau irradiansi matahari [41]. Pyranometer biasanya digunakan dalam meteorologi, klimatologi, dan sistem pembangkit listrik tenaga surya. Dengan menangkap sinar matahari dengan sudut tegak lurus terhadap probe, perangkat ini memiliki kemampuan untuk mengonversi sinar matahari menjadi energi listrik. Spesifikasi teknis dari sensor pyranometer yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.9. Selain itu, bentuk fisik dari pyranometer ditampilkan pada Gambar 2.11 sebagai referensi visual perangkat.

Tabel 2.9 Spesifikasi *Pyranometer* [42]

Tegangan Kerja	7V – 30V DC
Rentang Pengukuran	0 – 1800 W/m <sup>2</sup>
<i>Interfaces</i>	RS485
Stabilitas Tahunan	$\leq \pm 3\%$
Resolusi	1W/m <sup>2</sup>



Gambar 2.11 Pyranometer [42]

## 2.9 Arduino IDE

Arduino IDE adalah piranti perangkat lunak gratis dan *open source* yang dipakai untuk menuliskan program dalam papan Arduino. Arduino IDE berfungsi sebagai penyunting teks untuk menciptakan, mengubah, dan memeriksa validitas kode program, serta mengunggah program ke papan Arduino. Arduino IDE menyediakan berbagai fitur yang membantu pengguna dalam membuat program, seperti perpustakaan kode yang luas, bantuan *online* yang komprehensif, dan forum komunitas yang aktif. Arduino IDE merupakan perangkat lunak yang amat mudah digunakan dan dapat dioperasikan oleh pemula maupun pengguna yang telah berpengalaman [43]. Arduino IDE dibuat dengan menggunakan bahasa pemrograman JAVA, yang dilengkapi dengan pustaka C/C++ (*wiring*), yang mempermudah operasi input/output. Perangkat lunak Arduino IDE ini tidak hanya digunakan untuk memprogram board Arduino Uno, ESP32, atau Arduino Portenta H7 tetapi juga untuk memprogram berbagai jenis board lainnya seperti Arduino Nano, Arduino Genio, Mapi32, NodeMCU, dan lain sebagainya.

## 2.10 Node-Red

Node-RED adalah sebuah aplikasi *event-driven* yang digunakan sebagai platform aliran data berbasis visual dan berfungsi sebagai aplikasi untuk menghubungkan dan otomatisasi berbagai perangkat dan layanan. Platform ini berjalan di atas runtime Node.js dan memiliki antarmuka web yang memungkinkan untuk membuat aliran-aliran (*flow*) dengan menghubungkan berbagai node yang menunjukkan fungsi atau layanan [44]. Ini menjadikannya unggul dalam

pengembangan aplikasi berbasis IoT, karena kemampuannya untuk menghubungkan berbagai perangkat dan layanan, serta mendukung integrasi dengan berbagai layanan pihak ketiga, seperti *platform cloud* dan penyedia layanan web.

### 2.11 PostgreSQL

PostgreSQL merupakan sistem manajemen basis data relasional (*relational data base management system* - RDBMS) *open-source* yang sangat handal. Dengan menyediakan fitur-fitur lengkap, PostgreSQL mendukung penggunaan bahasa *query* SQL yang kaya, memberikan kemampuan untuk mengelola data secara efisien dan aman. Platform ini juga memastikan kehandalan serta keamanan dalam pengelolaan basis data [45].

### 2.12 Dashboard IoT

*Dashboard* merupakan antarmuka pengguna (*user interface*) dari sistem monitoring AWS, yang menampilkan hasil pengukuran atribut iklim secara *real-time*. *Dashboard* ini dirancang berbasis konsep *Internet of Things* (IoT), yang memungkinkan integrasi sensor, pengolahan data, dan visualisasi melalui platform digital secara efisien [46]. Pada studi ini, *dashboard* dibangun menggunakan bahasa PHP dengan framework Laravel untuk *front-end*, dan bahasa Node JS dengan framework Express JS untuk bagian *back-end*.

### 2.13 Power over Ethernet (PoE)

*Power over Ethernet* (PoE) adalah teknologi yang memungkinkan pengiriman daya listrik dan data secara bersamaan melalui kabel Ethernet yang sama, sehingga menyederhanakan proses instalasi perangkat jaringan seperti kamera IP, telepon VoIP, dan titik akses nirkabel tanpa memerlukan sumber daya terpisah. PoE bekerja dengan menghubungkan *Power Sourcing Equipment* (PSE) yang menyediakan daya ke *Powered Device* (PD) yang menerima daya, memungkinkan perangkat beroperasi hanya melalui satu kabel [47]. Keunggulan utama dari teknologi ini meliputi efisiensi biaya, fleksibilitas dalam penempatan perangkat, peningkatan keamanan, serta kemudahan manajemen sistem. PoE menjadi solusi

penting dalam pengembangan sistem berbasis Internet of Things (IoT) dan smart building, di mana kemudahan instalasi dan efisiensi sistem sangat dibutuhkan.

#### 2.14 Kinerja dan Validasi Akuisisi Data Perangkat AWS

Pengukuran kinerja perangkat sangat penting untuk memastikan bahwa perangkat pengumpul data, seperti AWS, dapat berfungsi dengan optimal dan menghasilkan data yang andal. Dalam konteks penelitian atau aplikasi berbasis data, kualitas data yang dihasilkan perangkat menjadi dasar untuk analisis lebih lanjut. Dengan memantau kinerja perangkat, seperti jumlah data yang terkumpul dibandingkan dengan jumlah data yang diharapkan, dapat diidentifikasi adanya gangguan, kehilangan data, atau kegagalan fungsi perangkat. Validasi kinerja ini juga berfungsi sebagai tolak ukur apakah perangkat mampu memenuhi kebutuhan akuisisi data dalam berbagai kondisi lingkungan, terutama di lokasi dengan tantangan tertentu seperti wilayah mangrove.

Selain itu, informasi ini memberikan acuan yang dapat digunakan untuk membandingkan kinerja perangkat serupa atau untuk menyusun strategi perbaikan dan pemeliharaan. Dengan mencatat interval waktu pengukuran, total data yang diharapkan, dan realisasi data yang terkumpul, peneliti dapat memastikan bahwa hasil analisis data berdasarkan perangkat ini tetap valid dan kredibel [48].

Berdasarkan penentuan interval akuisisi data, di mana data diakuisisi setiap 10 menit secara kontinu tanpa jeda waktu, maka jumlah baris data seharusnya dihitung dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah baris data seharusnya} &= \text{Jumlah hari} \times \text{Jumlah data per hari} \\ &= \text{Jumlah hari} \times \left( 24 \text{ Jam} \times \left( \frac{60 \text{ Jam}}{10 \text{ Menit}} \right) \right) \quad (1) \end{aligned}$$

dimana:

Jumlah baris data : Total jumlah data yang dihasilkan selama proses akuisisi data dalam periode tertentu.

Jumlah hari : Jumlah hari dalam periode pengamatan.

Jumlah data per hari : Banyaknya data yang dikumpulkan dalam satu hari.

### 2.15 Data Cleaning

*Data cleaning* adalah proses krusial dalam analisis data yang bertujuan untuk memperbaiki dan mempersiapkan dataset agar siap untuk analisis lebih lanjut. Proses ini melibatkan identifikasi dan penghapusan kesalahan, duplikasi, serta inkonsistensi dalam data. Langkah-langkah yang umum dilakukan dalam *data cleaning* mencakup penanganan *missing value*, koreksi kesalahan pengetikan, penghapusan *outlier* yang tidak relevan, dan penjaminan konsistensi format data. Dengan melakukan *data cleaning*, kualitas data dapat ditingkatkan, yang pada gilirannya meningkatkan akurasi dan keandalan hasil analisis. Baiknya proses *data cleaning* dapat memastikan hasil yang valid dan dapat diandalkan [49].

### 2.16 Uji Kolmogorov-Smirnov

Uji Kolmogorov-Smirnov (uji K-S) adalah metode nonparametrik yang digunakan untuk menguji kesesuaian distribusi probabilitas dari data. Uji ini dapat digunakan untuk membandingkan sebuah sampel dengan distribusi teoritis (uji K-S satu sampel), atau untuk membandingkan dua sampel independen (uji K-S dua sampel). Dalam konteks pengujian statistik, uji K-S sangat berguna untuk mengevaluasi apakah data mengikuti distribusi tertentu, seperti distribusi normal, tanpa mengasumsikan parameter distribusi terlebih dahulu [50]. Formulasi dari statistik *Kolmogorov-Smirnov* diberikan sebagai berikut:

$$D = \text{Maks } |F_0(X) - F_n(X)| \quad (2)$$

dimana:

D : Statistik K-S (jarak maksimum)

$F_0(x)$  : Fungsi distribusi kumulatif teoritis (CDF)

$F_n(x)$  : Fungsi distribusi kumulatif empiris (ECDF) dari data sampel

### 2.17 Interquartile Range (IQR)

*Interquartile Range* (IQR) adalah metode statistik yang digunakan untuk menggambarkan sebaran data di sekitar nilai tengah dengan mengecualikan

pengaruh nilai-nilai ekstrem atau *outlier*. IQR dihitung sebagai selisih antara kuartil ketiga ( $Q_3$ ), yang memisahkan 75% data terendah dari 25% data tertinggi, dan kuartil pertama ( $Q_1$ ), yang memisahkan 25% data terendah dari 75% sisanya. Sehingga IQR dapat memberikan informasi tentang sebaran data dan membantu dalam mengidentifikasi *outlier* [51].

Dalam perhitungannya, IQR menggunakan rumus [51]:

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (3)$$

Dimana :

$Q_1$  (Kuartil Pertama): Nilai yang membagi 25% data terendah dari 75% sisanya.

$Q_3$  (Kuartil Ketiga): Nilai yang membagi 75% data terendah dari 25% sisanya.

## 2.18 Radius Cakupan Perangkat

Radius cakupan pada perangkat AWS terpadu merujuk pada luas area horizontal di sekitar sensor yang masih dianggap dapat merepresentasikan kondisi cuaca atau iklim yang diukur oleh perangkat tersebut. Radius ini dipengaruhi oleh tipe sensor, tinggi pemasangan sensor, serta kondisi topografi dan vegetasi di sekitar lokasi pengamatan. Semakin kompleks atau heterogen medan di sekitar, maka radius cakupan yang representatif cenderung semakin sempit [52].

Merujuk pada sistem yang telah ada, maka rumus perhitungan radius cakupan perangkat yang digunakan mengacu pada pendekatan sistem eddy covariance, karena memperhitungkan tinggi sensor dan vegetasi yang juga relevan dalam pengukuran AWS terpadu. Dimana rumus nya adalah sebagai berikut [53]:

$$r = \left( h - \frac{2}{3} \times z_{vegetasi} \right) \times 100 \dots (4)$$

Dimana:

$r$  : Radius cakupan efektif (meter).

$h$  : Tinggi sensor (meter).

$z_{vegetasi}$  : Tinggi tanaman (meter).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian skripsi ini dilakukan di Laboratorium Terpadu Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung dan di area konservasi Hutan Mangrove Petengoran Desa Gebang, Kecamatan Padang Cermin, Kabupaten Pesawaran. Sedangkan waktu penelitian skripsi ini dimulai dari bulan Juli 2023 sampai dengan bulan Desember 2023.

#### 3.2 Komponen dan Perangkat Lunak Penelitian

Dalam penelitian skripsi ini, terdapat komponen dan perangkat lunak yang digunakan dalam perancangan dan pengembangan. Tabel 3.1. menunjukkan komponen dan perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 3.1. Komponen dan Perangkat Lunak

No	Komponen dan Perangkat Lunak	Kegunaan
1	Laptop	Sebagai perangkat untuk melakukan pemrograman
2	Raspberry Pi 4 Model B 2 GB Memory	Sebagai pusat kontrol baik pengolahan data dan pengiriman data.
3	Sensor Rain Gauge	Sebagai pengukur curah hujan
4	Sensor <i>Anemometer</i>	Sebagai pengukur kecepatan angin
5	Sensor <i>Wind Direction</i>	Sebagai pengukur arah angin
6	SHT85	Sebagai pengukur suhu, kelembaban dan tekanan udara
7	DFRobot MiCS-4514	Sebagai pengukur beberapa kandungan gas yang terdapat di sekitar
8	Sensor DS18B20	Sebagai pengukur suhu air

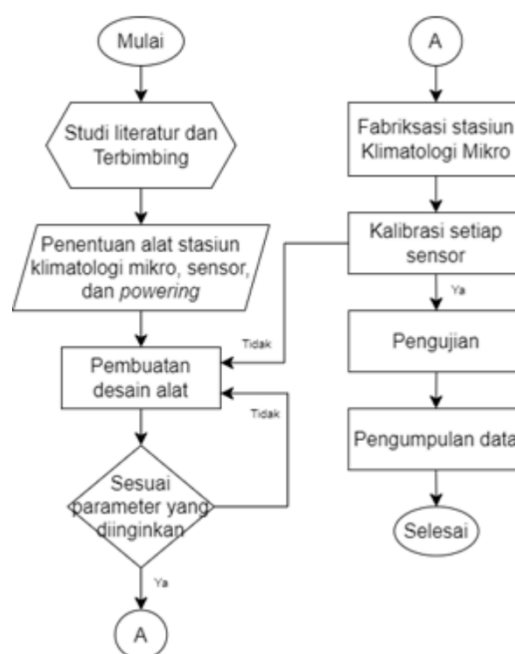
9	Pyranometer	Sebagai Pengukur irradiansi matahari
10	Router Tenda N300	Sebagai penghubung ke layanan internet
11	SD Card Memory 32GB	Sebagai tempat backup penyimpanan data
12	Matek Micro BEC	Sebagai komponen untuk menaikkan dan menurunkan tegangan
13	<i>Panel box</i>	Sebagai wadah serta melindungi perangkat dari intervensi dari luar
14	<i>LC Filter</i>	Sebagai peredam <i>noise</i> pada tegangan <i>input</i>
15	Arduino IDE V2.0	Sebagai perangkat lunak untuk membangun program yang akan dijalankan pada mikrokontroler.
15	Node-RED	Sebagai pengatur data hasil pengukuran agar disesuaikan dengan format yang dibutuhkan dan langsung di transmisi kan ke basis data.
16	Buck Boost Converter	Sebagai komponen untuk menaikkan dan menurunkan tegangan
17	<i>Power Supply</i>	Sebagai pemasok daya dari PLN menuju ke komponen perangkat
18	<i>Sillica Gel</i>	Sebagai penjaga kelembapan didalam panel box.

### 3.3 Alur Pelaksanaan

Pelaksanaan penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur dan terbimbing terhadap topik terkait “Penerapan Sistem Tertanam dan *Internet of Things Dalam Pengembangan Automatic Weather Station (AWS) Terpadu di Kawasan Hutan Mangrove Petengoran*”. Proses dilanjutkan dengan menentukan jenis mikrokontroler, sistem catu daya, sensor, penyimpanan data, dan penampilan data.



Selanjutnya dilakukan proses desain dan perancangan alat klimatologi mikro hingga didapatkan ketentuan dan parameter yang diinginkan. Setelah desain dibuat dan perancangan telah selesai maka dilakukan proses fabrikasi serta proses kalibrasi menggunakan alat dan perangkat standard. Ketika sensor sudah mengambil data sesuai dengan parameter maka dilanjutkan dengan uji lapangan di area konservasi mangrove Petengoran, Desa Gebang, Kecamatan Teluk Pandan, Kabupaten Pesawaran, dan pengumpulan data. Pada Gambar 3.1 dapat dilihat diagram alir pelaksanaan penelitian.



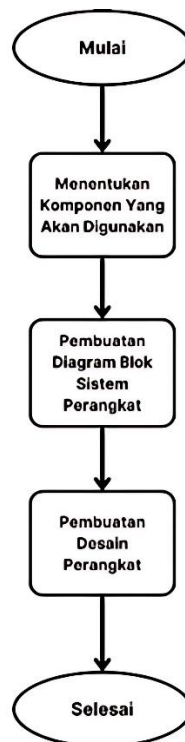
Gambar 3.1 Diagram Alir Pelaksanaan

### 3.4 Perancangan dan Desain AWS Terpadu

Dalam pelaksanaan penelitian, pertama penulis mengumpulkan dan memahami berbagai literatur mulai dari parameter klimatologi untuk area mangrove, sensor-sensor apa saja yang digunakan dalam pembuatan alat klimatologi, desain hingga perancangan alat klimatologi. Tidak hanya itu, penulis melakukan diskusi bersama dosen pembimbing dan tim pelaksana pembuatan stasiun *microclimate* terkait perancangan alat yang baik serta penempatan alat klimatologi nantinya.

Diagram blok digunakan dalam penelitian ini untuk menggambarkan alur kerja

sistem secara menyeluruh dan hubungan antar komponen. Gambar 3.2 berikut menunjukkan diagram alir proses perancangan dan desain alat.



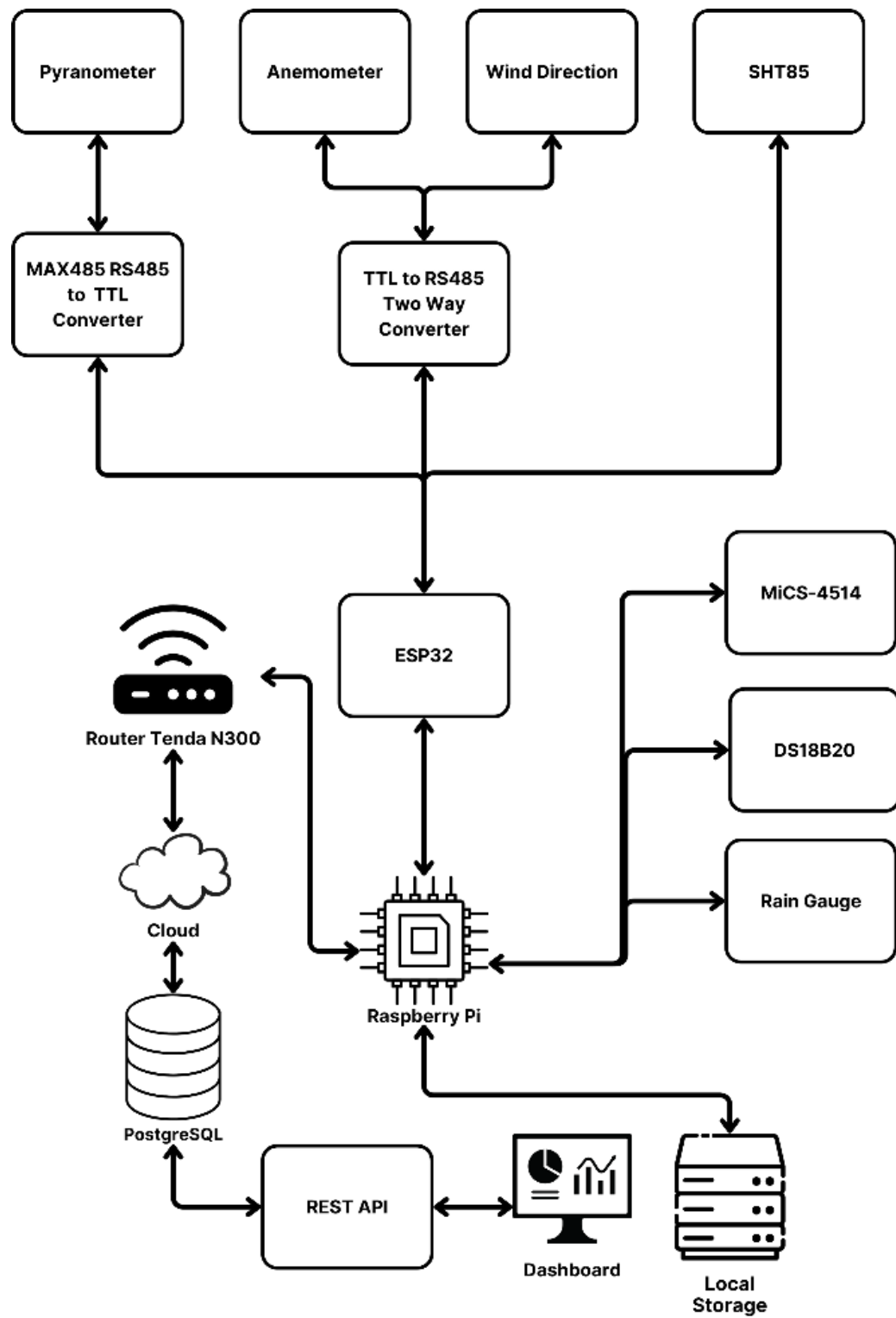
Gambar 3.2 Diagram Alir Proses Perancangan dan Desain Alat

Berdasarkan Gambar 3.2, Setelah mengumpulkan dan memahami berbagai literatur serta melakukan diskusi, penulis dapat mengetahui alat apa yang akan digunakan, maka tahapan selanjutnya adalah pembuatan diagram blok. Diagram Blok dilakukan karena memiliki berbagai manfaat yang menjadi langkah awal yang penting dalam pengembangan sistem yang baik dan efisien.

#### 3.4.1. Diagram Blok dan Sistem Perangkat

Diagram blok memusatkan perhatian pada struktur keseluruhan sistem dengan mengidentifikasi dan menggambarkan blok-blok utama atau komponen-komponen kunci serta hubungan antara mereka. Ini menyajikan gambaran tingkat tinggi tentang arsitektur perangkat, mempermudah pemahaman mengenai fungsi masing-masing blok dan cara mereka berinteraksi. Diagram blok merupakan alat visual yang efektif untuk merancang dan memahami struktur sistem secara menyeluruh. Pada Gambar 3.3 dapat dilihat diagram blok dari AWS Terpadu pada

penelitian ini.



Gambar 3.3 Diagram Blok AWS Terpadu

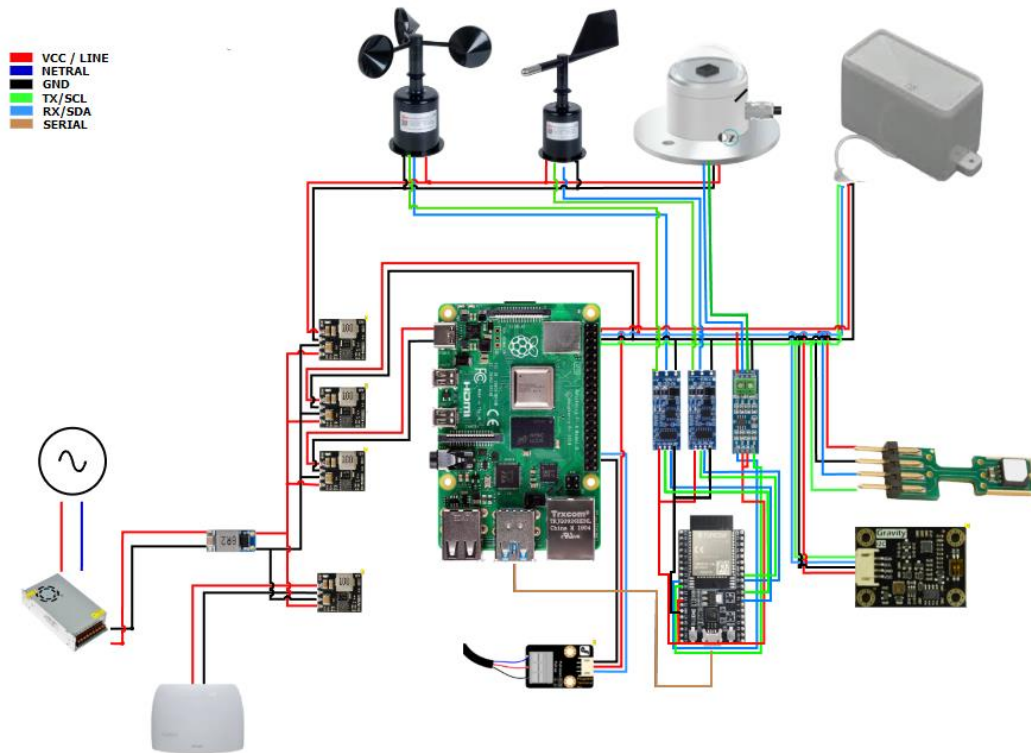
Seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.3 Diagram Blok AWS terpadu bahwa perangkat monitoring atribut iklim menggunakan anemometer untuk mendapatkan kecepatan angin, *wind direction* untuk mendapatkan arah angin, sensor SHT85 untuk mendapatkan suhu dan kelembapan, *pyranometer* untuk mendapatkan nilai irradiansi matahari, sensor MiCS-4514 untuk mendapatkan beberapa konsentrasi gas, sensor DS18B20 untuk mendapatkan suhu air dan *rain gauge* untuk mendapatkan curah hujan. Raspberry Pi disini selain berperan sebagai pusat kendali juga bertugas mengoperasikan sensor, yaitu sensor MiCS-4514, DS18B20, dan *rain gauge*.

Mikrokontroler ESP32 mengendalikan *pyranometer* yang membutuhkan bantuan modul MAX485 RS485 to TTL *Converter*, lalu sensor anemometer dan *wind direction* yang masing-masing membutuhkan TTL to RS485 *Two Way Converter*. Data yang diakuisisi oleh ESP32 dikemas dalam bentuk string, untuk kemudian ditransmisikan ke *Raspberry Pi* melalui port USB Serial. Pada *Raspberry Pi*, setelah menerima data dari ESP, kemudian menggabungkan hasil pengukuran dari ESP32 dan semua sensor yang dikendalikannya kedalam bentuk JSON. Data dengan format JSON selanjutnya ditransmisikan ke *local storage*, dan, *cloud*. Untuk mengirimkan data ke *cloud* diperlukan bantuan sebuah perangkat router sebagai *gateway* perangkat dan system AW dengan sistem *back-end* yang berada di jaringan *cloud internet* menggunakan jaringan seluler 4G publik. Setelah di *cloud*, data kemudian di *store* ke dalam *database* agar dapat *retrieve* oleh *dashboard* di *front-end* menggunakan *REST API*.

### 3.4.2. Perancangan PCB

Tahapan penelitian yang dilakukan berikutnya dalam skripsi ini adalah perancangan PCB, namun ada baiknya membahas *wiring* terlebih dahulu sebelum masuk ke perancangan PCB. Pendekatan ini dipilih karena memastikan koneksi antar komponen bekerja dengan baik secara manual, dan sangat membantu mengurangi potensi kesalahan sebelum sistem difabrikasi secara permanen pada PCB.

Setelah tahap *wiring* selesai, perancangan PCB dilakukan menggunakan *software DipTrace* versi 4.3.0.5. Komponen dihubungkan langsung sesuai dengan *wiring* yang telah direncanakan sebelumnya, untuk memastikan setiap jalur sinyal dan koneksi antar komponen sudah terpasang dengan benar. Pada gambar 3.5, diperlihatkan hubungan antar komponen perangkat AWS yang dirancang. Sumber catu daya berasal dari listrik PLN. Listrik yang masuk ke sistem AWS dirancang untuk melalui *LC Filter* terlebih dahulu guna mengurangi *noise* pada arus yang mengalir. Setelah *LC Filter*, arus listrik kemudian masuk ke sebuah regulator (Matek Micro BEC) untuk menstabilkan tegangan yang dibutuhkan sebelum didistribusikan ke masing-masing sensor. Terdapat beberapa sensor yang membutuhkan *converter*, yaitu anemometer serta *wind direction* yang memerlukan *TTL to RS485 Two Way Converter*, dan modul MAX485 yang dibutuhkan oleh sensor *pyranometer*. Hal ini disebabkan adanya perbedaan protokol komunikasi antara sistem dan sensor sehingga diperlukan *converter* untuk menjembatannya. Terjadi transfer daya serta data dari mikrokontroler ke *Raspberry Pi* sebagai *single board computer*. Dengan mekanisme koneksi serial seperti ini, *wiring* menjadi lebih *compact* dan efisien karena selain bisa melakukan transfer data, juga bisa sekaligus untuk mengalirkan daya. Hubungan antar komponen secara detail dan menyeluruh dapat dilihat pada gambar 3.4.



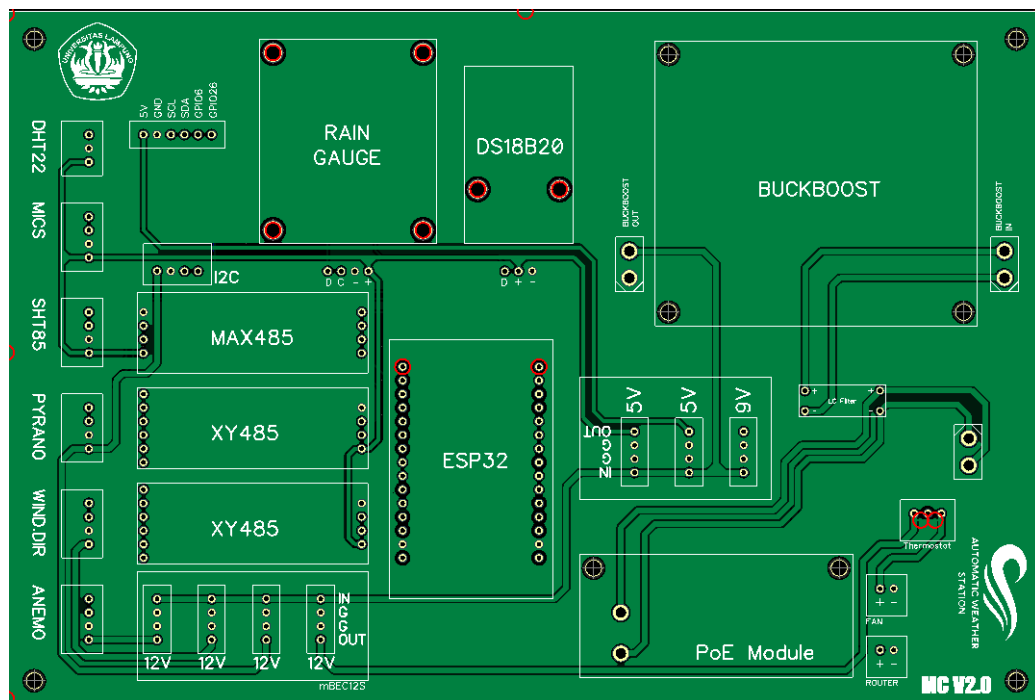
Gambar 3.4 *Wiring diagram*

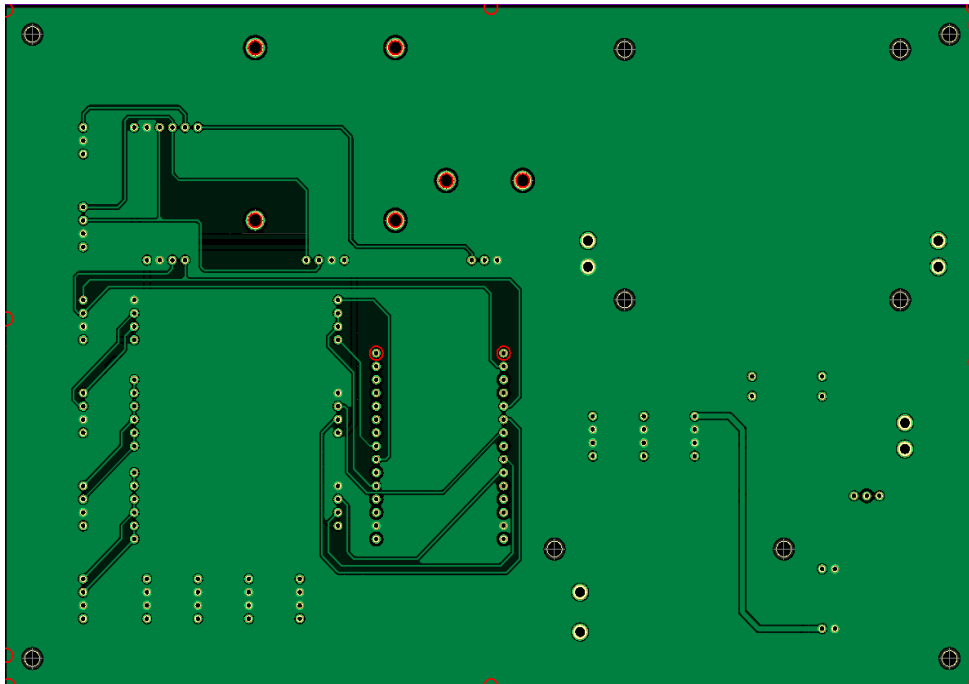
Berdasarkan Gambar 3.4 *Wiring Diagram*, AWS terpadu diawali dengan pasokan listrik AC PLN yang ditandai dengan poin nomor (1). Selanjutnya, listrik dialirkan ke *power supply* (2) untuk mengubah arus bolak-balik (*alternating current* – AC) dari PLN menjadi arus searah (*direct current* - DC) yang digunakan oleh sistem AWS. Setelah itu, arus menuju LC Filter (3) yang berfungsi untuk mereduksi *noise* yang terdapat pada arus. Poin (4) merupakan regulator Matek Micro BEC yang berfungsi untuk mengatur tegangan agar sesuai dengan kebutuhan masing-masing komponen, di antaranya ada Router (5), *Raspberry Pi* (6), anemometer (7), *wind direction* (8), *pyranometer* (9), dan SHT85 (10). *Raspberry Pi* (6) di sini juga berfungsi untuk memberikan daya kepada sensor DS18B20 (11), sensor MiCS-4514 (12), dan sensor *rain gauge* (13). Selain itu, *Raspberry Pi* (6) juga terhubung dengan ESP32 (14) melalui komunikasi serial, yang tidak hanya bertujuan untuk melakukan transmisi data tetapi juga untuk pengiriman daya. Beberapa sensor yang terhubung dengan ESP32 memerlukan konverter agar dapat berfungsi, yaitu penggunaan *TTL to RS485 Two Way Converter* yang ditunjukkan oleh nomor (15) untuk sensor anemometer (7) dan sensor *wind direction* (8). Selain itu, terdapat modul *MAX485 RS485 to TTL Converter* (16) yang digunakan untuk sensor *pyranometer* (9).

Langkah berikut yang harus dipertimbangkan dalam pembuatan PCB untuk perangkat AWS adalah menentukan jumlah lapisan (*layer*) PCB yang akan digunakan. PCB yang dirancang menggunakan dua *layer*, yang dimana *layer* satu ditunjukkan oleh Gambar 3.5 dan *layer* kedua ditunjukkan oleh Gambar 3.6. Penggunaan dua *layer* ini dipilih untuk memudahkan pengaturan jalur transmisi sinyal data dan daya bagi setiap komponen yang terhubung.

Lapisan pertama berfungsi adalah *power layer*, yang bertanggung jawab untuk distribusi daya dari sumber catu daya ke setiap komponen yang ada di PCB. Pada *power layer* ini juga terdapat jalur *ground* yang menghubungkan pin *ground* dari setiap komponen agar sistem memiliki arus listrik yang stabil. Sedangkan lapisan kedua adalah *signal layer*, yang digunakan untuk mengatur jalur transmisi data dari sensor-sensor untuk selanjutnya diteruskan ke *Single Board Computer*.

Setelah jumlah *layer* ditentukan, proses desain PCB dilanjutkan dengan penempatan dan penyusunan komponen-komponen pada PCB. Kemudian, jalur tembaga dirancang untuk menghubungkan komponen-komponen tersebut sesuai dengan fungsinya masing-masing.



Gambar 3.5 Desain PCB (*Power Layer*)Gambar 3.6 Desain PCB (*Signal Layer*)

### 3.4.3. Kalibrasi Sensor

Kalibrasi merupakan proses pengecekan dan penyesuaian tingkat akurasi perangkat pengukuran dengan membandingkannya terhadap standar acuan yang telah ditetapkan. Seperti yang tercantum pada Tabel 3.2, perangkat-perangkat kalibrasi yang digunakan telah diidentifikasi. Kalibrasi pada perangkat AWS terpadu ini diperlukan untuk menjamin bahwa data pengukuran yang dihasilkan oleh sensor-sensor, seperti sensor suhu, kelembapan, irradiansi, dan gas, memiliki akurasi yang sesuai standar serta kompatibel dengan perangkat pengukur lainnya. Proses kalibrasi ini penting guna memastikan setiap komponen perangkat bekerja dengan optimal dan memberikan hasil yang dapat diandalkan.

Tabel 3.2 Daftar Penggunaan alat Kalibrasi

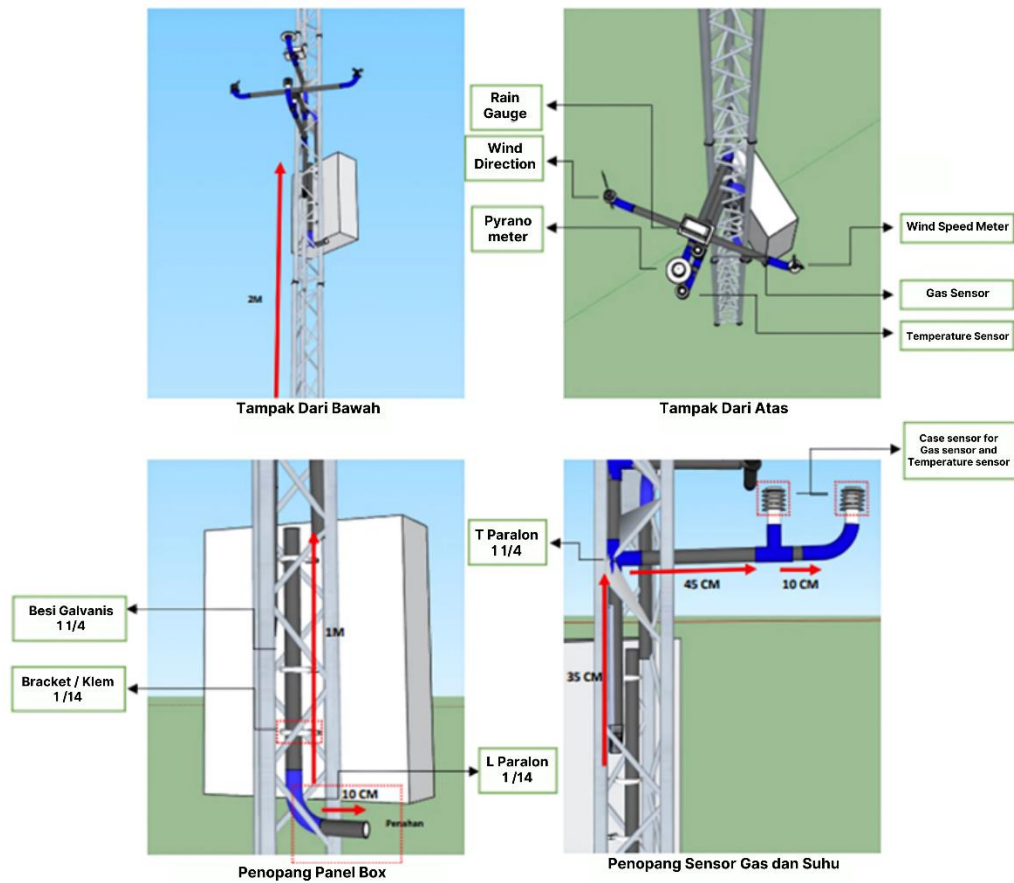
No.	Alat Kalibrasi	Kegunaan
1.	Kompas	Digunakan untuk mengkalibrasi sensor arah angin ( <i>Wind Direction</i> )
2.	Wind Speed Meter	Digunakan untuk mengkalibrasi sensor kecepatan angin



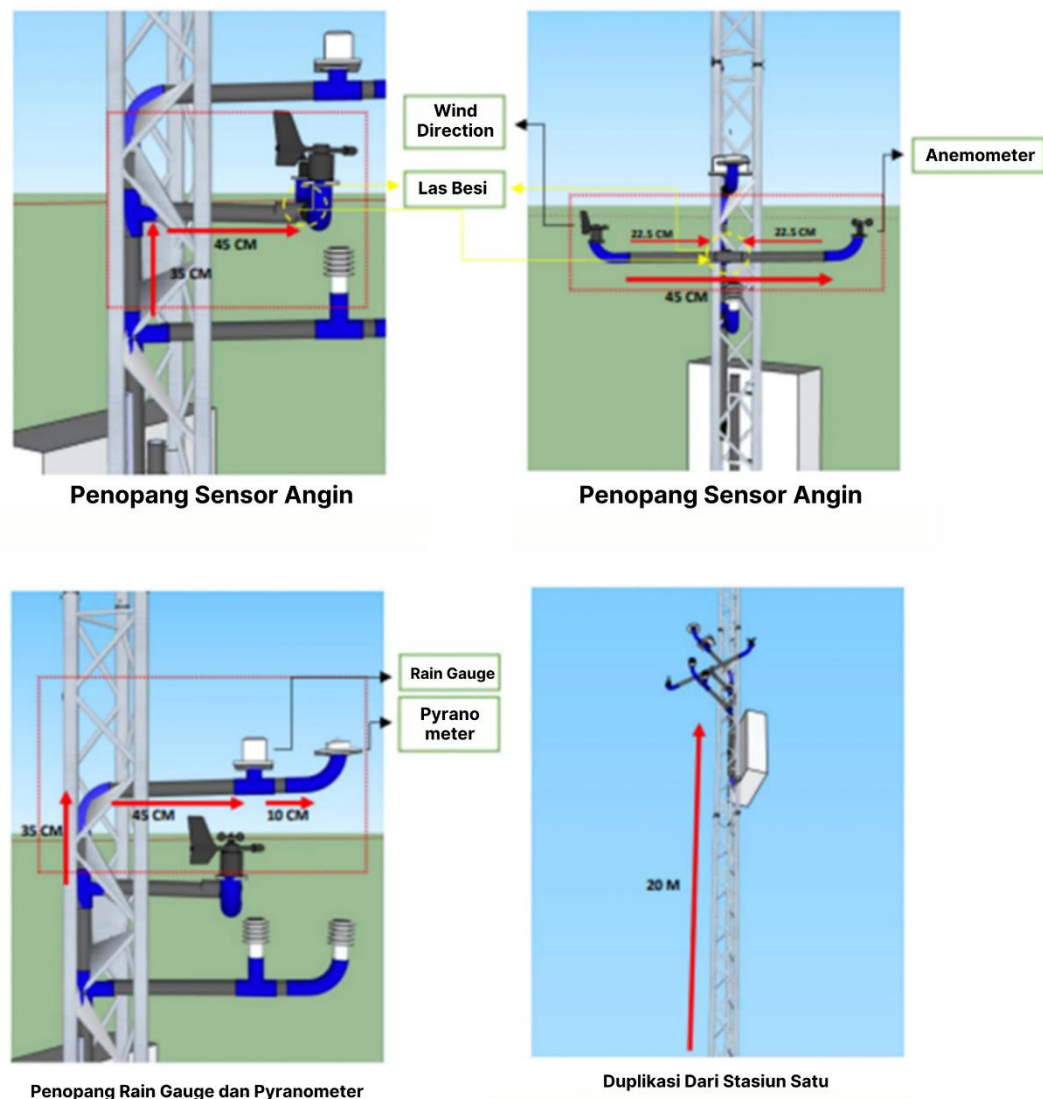
		( <i>Anemometer</i> )
3.	Thermometer	Digunakan untuk mengkalibrasi sensor suhu air (DS18B20)
4.	<i>Digital Thermo Hygro</i>	Digunakan untuk mengkalibrasi sensor suhu, tekanan, dan kelembaban udara (SHT85).
5.	Gelas Ukur	Digunakan untuk mengkalibrasi sensor hujan ( <i>Rain Gauge</i> )

#### 3.4.4. Desain Perangkat

Tahap selanjutnya adalah membuat desain perangkat dari AWS terpadu. Desain Perangkat AWS terpadu di hutan mangrove Petengoran terdiri dari sebuah menara meteorologi yang dibangun guna mendapatkan analisis vertikal dari variasi atribut iklim. Menara ini ditempatkan pada koordinat geografis sekitar sekitar 5,527125° LS dan 105,385262° BT, dan terdiri dari dua stasiun meteorologi: satu dipasang di bawah kanopi dengan ketinggian 2 m seperti pada gambar 3.7, dan satu lagi dipasang di atas kanopi di tepi menara kanopi dengan ketinggian 20 m seperti pada Gambar 3.8. Pengambilan data awal akan dilakukan selama 3 bulan. Sensor-sensor tersebut diprogram untuk mengakuisisi data setiap 10 menit.



Gambar 3.7 Desain Perangkat AWS Terpadu Stasiun Pertama



Gambar 3.8 Desain Perangkat AWS Terpadu Stasiun Kedua

Posisi pemasangan sensor arah angin dan sensor kecepatan angin diatur sedemikian rupa sehingga keduanya berjarak 45 cm satu sama lain. Masing-masing sensor ditempatkan pada jarak 22,5 cm dari titik tengah tiang. Konfigurasi ini memastikan bahwa kedua instrumen berada pada jarak aman dari gangguan lingkungan dan dapat memperoleh data pengukuran secara optimal. Jarak antar pusat kedua instrumen (center-to-center) minimal 40 cm guna meminimalisir interferensi saat pengukuran simultan [54].

### 3.5 Konfigurasi Pada *Raspberry Pi*

Sistem AWS terpadu ini berfokus pada penggunaan *Raspberry Pi* sebagai *Single Board Computer*, yang bertugas untuk mengumpulkan dan mensinkronkan data dari berbagai sensor. Data yang diperoleh kemudian disimpan baik dalam penyimpanan lokal maupun *cloud*, dengan tujuan untuk memungkinkan tampilan data secara *real-time*. Secara garis besar alur sistem terbagi menjadi empat bagian, yang akan dijelaskan secara detail berikut ini.

#### 3.5.1. Bagian Pewaktuan (*Time Formatter*)

Sistem ini menggunakan *time formatter* untuk memberikan *timestamp* akurat pada setiap data yang dikumpulkan dari sensor-sensor terhubung, dengan format waktu konsisten seperti YYYY-MM-DD HH:mm. *Timestamp* diberikan secara berkala setiap 10 menit, dimulai dari pukul 00:00 hingga 23:50 setiap harinya, guna menyelaraskan data dengan waktu pengambilannya. Pemilihan interval akuisisi data ini disesuaikan dengan kebutuhan operasional, dengan mempertimbangkan durasi yang cukup untuk proses inisialisasi, akuisisi data, dan pengistirahatan guna menjaga durabilitas. Pengaturan ini memastikan data tercatat secara konsisten, akurat, dan terintegrasi dengan baik untuk kebutuhan analisis lebih lanjut.

#### 3.5.2. Bagian *Raspberry Pi*

*Raspberry Pi* mengelola sensor-sensor yang terhubung langsung dengannya, seperti sensor curah hujan (Raingauge) dan sensor gas (MICS-4514). Sistem ini menjalankan skrip Python yang dikonfigurasi untuk mengambil data dari sensor-sensor tersebut secara berkala. Data mentah yang dikumpulkan kemudian diproses untuk memvalidasi keakuratan dan memastikan tidak ada nilai yang tidak valid (seperti NaN atau tidak terdeteksi). Setelah diproses, data dikirim untuk disimpan atau dipublikasikan.

#### 3.5.3. Bagian ESP32

ESP32 berperan dalam mengumpulkan data dari berbagai sensor cuaca lainnya

yang terhubung melalui komunikasi serial. Sensor-sensor ini meliputi kecepatan angin, arah angin, suhu udara, kelembaban, dan radiasi matahari. ESP32 bertindak sebagai penghubung yang mengumpulkan data dari sensor-sensor ini dan mengirimkannya ke Raspberry Pi. Data mentah dari ESP32 kemudian diproses lebih lanjut untuk mengatasi data yang tidak valid, seperti pengukuran angin yang tidak terdeteksi atau suhu yang salah.

#### **3.5.4. Bagian Penyimpanan Data**

Setelah data dari sensor-sensor diproses dan divalidasi, bagian penyimpanan bertanggung jawab untuk mencatat data ini ke dalam file log. Data cuaca disimpan dalam format CSV, dengan nama file yang dihasilkan berdasarkan timestamp waktu pengambilan dengan format “microclimate3\_bulan\_tahun.csv”. Setiap kali data baru dikumpulkan, data ini ditambahkan ke file log yang ada, sehingga seluruh riwayat cuaca dapat dilacak dan dianalisis di masa mendatang. Selain Penyimpanan lokal, pada bagian ini juga mengirimkan hasil data yang sudah terhimpun ke *database* menggunakan bantuan protokol MQTT yang dikemas dalam bentuk JSON.

Raspberry Pi bertanggung jawab menjalankan program yang mengatur kerja sensor-sensor yang terhubung. Penjelasan mengenai konfigurasi kode untuk memperoleh data atribut iklim disajikan pada Gambar 3.9.

Gambar 3.9 Node-RED *Flow* AWS Terpadu

### **3.5.5. Algoritma Konfigurasi Sensor MiCS-4514**

Dalam algoritma konfigurasi sensor MiCS-4514, proses dimulai dengan bagian inisialisasi, di mana alamat sensor gas dan nilai ambang batas untuk deteksi gas diatur. Kemudian, sistem melakukan inisialisasi semua koneksi serial dan sensor, diikuti dengan penantian selama 1 detik untuk memastikan semua sensor siap. Setelah itu, sistem menunggu selama 60 detik untuk pemanasan dan kalibrasi sensor. Dalam proses kalibrasi, sistem membaca data dari sensor selama 10 kali, dengan jeda 1 detik di antara setiap pembacaan, dan hasil pembacaan dijumlahkan untuk dihitung rata-ratanya.

Setelah bagian inisialisasi selesai, program melanjutkan ke bagian Utama utama. Di sini, sistem mengatur waktu terakhir pembacaan dan interval pembacaan data sensor menjadi 1 detik. Dalam loop yang terus menerus ini, sistem mendapatkan waktu saat ini dan memeriksa apakah sudah 1 detik berlalu sejak pembacaan terakhir. Jika sudah, sistem memperbarui waktu terakhir pembacaan, membaca konsentrasi gas, dan memeriksa apakah konsentrasi gas melebihi nilai ambang batas. Jika ya, sistem akan menampilkan peringatan. Hasil pembacaan konsentrasi gas ditampilkan ke layar. Untuk menghemat daya, sistem melakukan jeda selama 0,1 detik sebelum melanjutkan siklus berikutnya. Dimana algoritma konfigurasi sensor MiCS-4514 yang digunakan dalam studi ini dapat dilihat pada Gambar 3.10.

```

1  START
2  // BAGIAN INISIALISASI
3  SET I2C_BUS TO 1 // Inisialisasi bus I2C yang digunakan
4  SET ALAMAT_SENSOR TO MICS_ADDRESS0 // Inisialisasi alamat sensor
5  INISIALISASI sensor dengan I2C_BUS dan ALAMAT_SENSOR // Menyiapkan koneksi sensor
6  delay 300000 ms // Tunggu selama 3 menit untuk kalibrasi
7
8  // BAGIAN LOOP UTAMA
9  SET WAKTU_TERAKHIR TO 0 // Inisialisasi waktu terakhir pembacaan ke 0
10 SET INTERVAL_BACA TO 598000 // Set Interval waktu pembacaan sensor
11
12 WHILE TRUE DO
13   SET WAKTU_SEKARANG TO baca_waktu() // Mendapatkan waktu saat ini
14
15   // PEMBACAAN DATA DARI SENSOR
16   IF WAKTU_SEKARANG - WAKTU_TERAKHIR >= INTERVAL_BACA THEN
17     SET WAKTU_TERAKHIR TO WAKTU_SEKARANG // Memperbarui waktu terakhir baca
18
19     SET GAS_CO TO get_gas_ppm(CO) // Membaca konsentrasi CO
20     SET GAS_CH4 TO get_gas_ppm(CH4) // Membaca konsentrasi CH4
21     SET GAS_C2H5OH TO get_gas_ppm(C2H5OH) // Membaca konsentrasi C2H5OH
22     SET GAS_H2 TO get_gas_ppm(H2) // Membaca konsentrasi H2
23     SET GAS_NH3 TO get_gas_ppm(NH3) // Membaca konsentrasi NH3
24     SET GAS_NO2 TO get_gas_ppm(NO2) // Membaca konsentrasi NO2
25
26     // CETAK HASIL PEMBACAAN
27     PRINT GAS_CO, GAS_CH4, GAS_C2H5OH, GAS_H2, GAS_NH3, GAS_NO2 // Menampilkan hasil pembacaan ke Layar
28
29     // Istirahat sebentar untuk menghemat daya
30     SLEEP 200 as // istirahat sejenak untuk menghemat daya
31   END WHILE
32 END

```

Gambar 3.10 Algoritma Konfigurasi Sensor MiCS-4514

### 3.5.6. Algoritma Konfigurasi Sensor *Rain Gauge*

Dalam algoritma konfigurasi sensor *rain gauge*, pada bagian inisialisasi mode komunikasi I2C dan variabel nilai\_terakhir serta jumlah\_hujan diatur. Variabel nilai\_terakhir menyimpan data curah hujan terakhir, sedangkan jumlah\_hujan menghitung total curah hujan yang terukur. Fungsi setup memastikan sensor terhubung dengan baik. Jika sensor tidak terdeteksi, program menunggu selama 600 detik sebelum mencoba lagi, sehingga memberikan waktu bagi sensor untuk siap. Setelah berhasil terdeteksi, program mencetak 0.0 sebagai tanda sensor siap digunakan.

Dalam fungsi *loop*, data curah hujan mentah dibaca dari sensor. Jika ada nilai sebelumnya, program menghitung selisihnya untuk mendapatkan per\_tip\_hujan dan menambahkannya ke jumlah\_hujan. Setiap 600 detik, hasil curah hujan dalam milimeter ditampilkan, dan jumlah\_hujan direset untuk pengukuran berikutnya.



Sebelum memulai, ada waktu istirahat 240 detik untuk memastikan semua sistem berfungsi optimal. Pengaturan waktu ini penting untuk akurasi dan konsistensi hasil pengukuran curah hujan. Dimana algoritma konfigurasi sensor *Rain Gauge* yang digunakan dalam studi ini dapat dilihat pada Gambar 3.11.

```

1  START
2  // INISIALISASI
3  SET MODE_I2C TO 1 // Mode I2C
4  SET INTERVAL TO 600 // Set interval waktu dalam detik
5  SET sensor TO DFRobot_RainfallSensor_I2C() // Inisialisasi sensor I2C
6  SET nilai_terakhir TO None // Inisialisasi nilai terakhir
7  SET jumlah_hujan TO 0 // Inisialisasi jumlah hujan
8
9  // FUNGSI SETUP
10 FUNCTION setup()
11   WHILE sensor.begin() == False DO
12     PRINT "tidak_terdeteksi" // Menampilkan pesan jika sensor tidak terdeteksi
13     SLEEP 600 // Istirahat selama 600 detik
14   END WHILE
15   PRINT 0.0 // Menampilkan 0.0 jika sensor terdeteksi
16 END FUNCTION
17
18 // FUNGSI LOOP UTAMA
19 FUNCTION loop()
20   SET data_hujan_mentah TO sensor.get_raw_data() // Membaca data mentah dari sensor
21   IF nilai_terakhir IS NOT None THEN
22     SET selisih_hujan TO data_hujan_mentah - nilai_terakhir // Menghitung selisih data
23     SET jumlah_hujan TO jumlah_hujan + selisih_hujan // Menambahkan selisih ke jumlah hujan
24   ENDIF
25
26   SET nilai_terakhir TO data_hujan_mentah // Memperbarui nilai terakhir dengan data saat ini
27   IF time.time() - waktu_mulai >= INTERVAL THEN
28     SET mm TO 0.3 * jumlah_hujan // Menghitung curah hujan dalam mm
29     CETAK round(mm, 3) // Menampilkan hasil curah hujan
30     SET jumlah_hujan TO 0 // Mengatur ulang jumlah hujan
31     SET waktu_mulai TO time.time() // Memperbarui waktu mulai
32   ENDIF
33 END FUNCTION
34
35 // PROGRAM UTAMA
36 SLEEP 240 // Tidur selama 240 detik sebelum memulai
37 CALL setup() // Memanggil fungsi setup
38 SET waktu_mulai TO time.time() // Mengatur waktu mulai
39 WHILE TRUE DO
40   CALL loop() // Menjalankan loop utama
41 ENDWHILE
42
43 END

```

Gambar 3.11 Algoritma Konfigurasi Sensor *Rain Gauge*

### 3.6 Konfigurasi Pada Mikrokontroler

Mikrokontroler pada sistem ini mengatur beberapa sensor sensor, diantaranya *pyranometer*, *wind direction*, anemometer, dan SHT85. Berikut ini merupakan kode konfigurasi pada mikrokontroler yang dapat dilihat pada gambar 3.12 dibawah ini.

```

1  START
2  // BAGIAN INISIALISASI
3  SET alamat_Pyranometer // Inisialisasi alamat sensor pyranometer
4  SET alamat_Kecepatan Angin // Inisialisasi alamat sensor anemometer
5  SET arah_Mata Angin // Inisialisasi daftar arah mata angin
6  INISIALISASI semua koneksi serial dan sensor // Menyiapkan semua sensor dan koneksi yang diperlukan
7
8  // TUNGGU beberapa saat untuk memastikan semua sensor siap
9  delay 1000 ms
10
11 // BAGIAN LOOP UTAMA
12 SET waktu_terakhir TO 0 // Inisialisasi waktu terakhir pembacaan ke 0
13 SET interval_baca TO 1000 // Set Interval waktu pembacaan data sensor dalam milidetik
14
15 WHILE TRUE DO
16   SET waktu_sekarang TO baca_waktu() // Mendapatkan waktu saat ini dalam milidetik
17
18   // PEMBACAAN DATA DARI SENSOR
19   IF waktu_sekarang - waktu_terakhir >= interval_baca THEN
20     SET waktu_terakhir TO waktu_sekarang // Memperbarui waktu terakhir baca ke waktu sekarang
21
22     SET solar_radiation TO baca_radiasi() // Membaca nilai radiasi matahari
23     SET suhu TO baca_suhu() // Membaca suhu
24     SET kelembaban TO baca_kelembaban() // Membaca kelembaban
25     SET kecepatan_angin TO baca_kecepatan_angin() // Membaca kecepatan angin
26     SET arah_angin TO baca_arah_angin() // Membaca arah angin
27
28     // CETAK HASIL PEMBACAAN
29     PRINT solar_radiation, suhu, kelembaban, kecepatan_angin, arah_angin // Menampilkan hasil pembacaan
30   ENDIF
31
32   // TIDUR SEBENTAR UNTUK MENGHEMAT DAYA
33   SLEEP 100 ms // Istirahat sejenak untuk menghemat daya
34 END WHILE
35 END

```

Gambar 3.12 Algoritma Konfigurasi Mikrokontroler

Berdasarkan Gambar 3.12, bahwa konfigurasi pada mikrokontroler diawali dengan bagian inisialisasi yang bertujuan untuk menyiapkan alamat sensor pyranometer dan sensor angin, serta daftar arah mata angin. Selanjutnya, semua koneksi serial dan sensor diinisialisasi untuk memastikan semua perangkat siap digunakan. Setelah inisialisasi selesai, sistem menunggu selama satu detik untuk memastikan semua sensor berfungsi dengan baik.

Pada bagian selanjutnya yaitu *Loop* Utama, sistem menginisialisasi waktu terakhir pembacaan dan interval pembacaan data sensor yang ditetapkan menjadi satu detik. Di dalam loop yang berlangsung terus-menerus, sistem memeriksa waktu saat ini dan membandingkannya dengan waktu terakhir pembacaan. Jika sudah satu detik berlalu, sistem akan memperbarui waktu terakhir pembacaan dan membaca data dari sensor, yaitu nilai radiasi matahari, suhu, kelembaban, kecepatan angin, dan arah angin, kemudian menampilkan hasil pembacaan tersebut. Untuk menghemat daya, sistem melakukan jeda sejenak selama 0,1 detik sebelum melanjutkan ke siklus berikutnya.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil penelitian adalah:

1. Perangkat *automatic weather station* (AWS) terpadu berhasil dibuat dan diimplementasikan sesuai dengan rancangan yang telah direncanakan, yang terdiri dari dua stasiun. Stasiun pertama ditempatkan pada ketinggian 2 meter, sedangkan stasiun kedua berada pada ketinggian 16 meter. Sumber daya listrik yang digunakan berasal dari PLN yang dialirkan ke stasiun pertama, kemudian didistribusikan ke stasiun kedua melalui *Power Over Ethernet* (PoE) *Injector*.
2. Berdasarkan hasil pengujian selama tiga bulan, AWS terpadu menunjukkan tingkat keberhasilan akuisisi data sebesar 75,85%, atau setara dengan 9.940 baris data untuk stasiun pertama, dan 74,98%, atau setara dengan 9.825 baris data untuk stasiun kedua. Data bersih yang dapat digunakan sebagai representasi untuk analisis tercatat sebesar 63,8% dari jumlah data yang seharusnya, yaitu 8267 baris untuk stasiun pertama, serta 60,39% atau setara dengan 7914 baris data untuk stasiun kedua. Rendahnya tingkat keberhasilan ini disebabkan oleh gangguan listrik yang sering terjadi di lokasi pengujian, serta durabilitas sensor yang terbatas akibat penempatan di lingkungan pesisir, di mana udara mengandung kadar garam yang tinggi, yang mempercepat proses korosi pada sensor dan menyebabkan penurunan kinerja sensor. Meskipun demikian, data yang dihasilkan telah divisualisasikan melalui dashboard interaktif dan informatif, sehingga memudahkan pengguna dalam mengakses serta menganalisis hasil pengukuran.

## 5.2 Saran

Adapun saran yang disampaikan oleh peneliti berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan antara lain adalah:

1. Menggunakan sumber daya alternatif, seperti panel surya atau baterai cadangan, agar AWS terpadu tetap dapat beroperasi meskipun terjadi gangguan listrik. Hal ini akan memastikan proses akuisisi data berjalan lebih optimal dan kontinu.
2. Memilih tipe sensor yang sesuai dengan kondisi lingkungan di lokasi instalasi perangkat. Jika perangkat ditempatkan di area dengan kondisi cuaca yang menantang, seperti hutan mangrove, disarankan untuk menggunakan sensor yang tahan terhadap lingkungan tersebut guna memastikan kontinuitas dan validitas dalam proses akuisisi data.
3. Mencari metode sinkronisasi pada sistem asinkron yang lebih efisien sehingga memaksimalkan kerja sensor dan meningkatkan kualitas data

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. K. Manik, S. Syaukat, A. Fauzan, and S. Indratmoko, "Kajian Dampak Urban Heat Island Studi Kasus Bandar Lampung dan DKI Jakarta," in *Pertemuan Ilmiah Tahunan Riset Kebencanaan BNPB*, 2015. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/281836072>
- [2] A. Al Idrus, A. Syukur, and L. Zulkifli, "The livelihoods of local communities: Evidence success of mangrove conservation on the coastal of East Lombok Indonesia," in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Dec. 2019. doi: 10.1063/1.5141308.
- [3] C. C. Jakovac *et al.*, "Costs and Carbon Benefits of Mangrove Conservation and Restoration: A Global Analysis," *Ecological Economics*, vol. 176, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.ecolecon.2020.106758.
- [4] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, "MILIKI 23% EKOSISTEM MANGROVE DUNIA, INDONESIA TUAN RUMAH KONFERENSI INTERNASIONAL MANGROVE 2017." Accessed: Nov. 20, 2024. [Online]. Available: [https://ppid.menlhk.go.id/siaran\\_pers/browse/561](https://ppid.menlhk.go.id/siaran_pers/browse/561)
- [5] F. Sidik, B. Supriyanto, H. Krisnawati, and M. Z. Muttaqin, "Mangrove conservation for climate change mitigation in Indonesia," Sep. 01, 2018, *Wiley-Blackwell*. doi: 10.1002/wcc.529.
- [6] K. W. Krauss and M. J. Osland, "Tropical cyclones and the organization of mangrove forests: A review," Jan. 23, 2020, *Oxford University Press*. doi: 10.1093/aob/mcz161.
- [7] Pusat Pendidikan dan Pelatihan BMKG, *Meteorologi Dasar untuk Indonesia*. Jakarta, Indonesia: Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), 2020.

- [8] F. Joe and J. Joseph, "IoT Based Weather Monitoring System for Effective Analytics," *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, vol. 8, no. 4, pp. 2249–8958, 2019, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/332799164>
- [9] M. Nsabagwa, M. Byamukama, E. Kondela, and J. S. Otim, "Towards a robust and affordable Automatic Weather Station," *Dev Eng*, vol. 4, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.deveng.2018.100040.
- [10] M. Purnomo, A. Rahman, and D. Yulianto, "Perancangan Automatic Weather Station Berbasis ESP8266 dan Blynk," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 7, no. 2, pp. 89–94, 2019.
- [11] M. Abdul-Niby, M. Farhat, M. Abdullah, and A. Nazzal, "A Low Cost Automated Weather Station for Real Time Local Measurements," *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 7, no. 3, pp. 1615–1618, 2017, doi: 10.48084/etasr.1187.
- [12] K. Ioannou, D. Karampatzakis, P. Amanatidis, V. Aggelopoulos, and I. Karmiris, "Low-cost automatic weather stations in the internet of things," Apr. 01, 2021, *MDPI AG*. doi: 10.3390/info12040146.
- [13] L. Herdianzenda and D. Siswanto, "Design Of Portable Automatic Weather Station Based On Raspberry PI," 2021.
- [14] D. Wang *et al.*, "Estimating aboveground biomass of the mangrove forests on northeast Hainan Island in China using an upscaling method from field plots, UAV-LiDAR data and Sentinel-2 imagery," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 85, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.jag.2019.101986.
- [15] C. Cameron, B. Kennedy, S. Tuiwawa, N. Goldwater, K. Soapi, and C. E. Lovelock, "High variance in community structure and ecosystem carbon stocks of Fijian mangroves driven by differences in geomorphology and climate," *Environ Res*, vol. 192, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.envres.2020.110213.
- [16] Arfan A, Abidin MR, Maru R, and Nyompa S, "Production and decomposition rate of litterfall *Rhizophora mucronata*," *EnvironmentAsia*, vol. 11, no. 1, pp. 112–124, 2018.

- [17] N. Nining, A. Malik, A. Arfan, and R. Maru, "Community perceptions on and participation in mangrove protection efforts for climate change in Pannikiang Island, South Sulawesi," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing Ltd, May 2021. doi: 10.1088/1755-1315/763/1/012067.
- [18] D. M. Alongi, "Present state and future of the world's mangrove forests," Sep. 2002. doi: 10.1017/S0376892902000231.
- [19] N. C. Duke and Etta Kavanagh, "A World Without Mangroves?," IUCN, 2007. [Online]. Available: [www.sciencemag.org/www.iucn.org/tsunami/16.The2006Australianmangrove meetings](http://www.sciencemag.org/www.iucn.org/tsunami/16.The2006Australianmangrove meetings)
- [20] Amane, R. W. Febrian, and A. O. Cahyaningrum, *PEMANFAATAN DAN PENERAPAN INTERNET OF THINGS (IOT) DI BERBAGAI BIDANG*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia., 2023.
- [21] M. K. Ishak, O. J. Hwan, T. Jiashen, and N. A. Mat Isa, "Automated Compilation Test System for Embedded System," *Makara Journal of Technology*, vol. 22, no. 3, pp. 115–1222, Jan. 2019, doi: 10.7454/mst.v22i3.3515.
- [22] M. Akil, Purnamawati, and Nuridayanti, "Perancangan Embedded System Pada Pembacaan dan Pengendalian Multi Sensor Berbasis Internet Of Things (IoT)," in *SEMINAR NASIONAL HASIL PENELITIAN 2021*, 2021, pp. 752–764.
- [23] H. Subyantara Wicaksana, M. Putra, and D. Prihartini Djenal, "Evaluasi Kinerja Automatic Weather Station Berdasarkan Pengamatan Paralel di Stasiun Meteorologi Kemayoran," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*, 2021.
- [24] D. Angela, T. A. Nugroho, B. Gultom, and Y. Yonata, "Perancangan Sensor Kecepatan dan Arah Angin untuk Automatic Weather Station (AWS)," *Jurnal Telematika*, vol. 12, no. 1, pp. 97–106, 2017.
- [25] "Raspberry Pi 4 Model B," 2024.
- [26] Raspberry Pi Ltd, "Raspberry Pi Documentation." Accessed: Mar. 05, 2024. [Online]. Available:



- <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/raspberry-pi.html>
- [27] A. N. N. Chamim, "PENGUNAAN MICROCONTROLLER SEBAGAI PENDETEKSI POSISI DENGAN MENGGUNAKAN SINYAL GSM," *JURNAL INFORMATIKA*, vol. 4, 2010.
  - [28] "ESP32 Series Datasheet," Espress Systems, 2023.
  - [29] "esp-dev-kits Documentation," Nov. 2024.
  - [30] A. Ardiyanto and dan Edy Supriyadi, "ALAT PENGUKUR SUHU BERBASIS ARDUINO MENGGUNAKAN SENSOR INFRAMERAH DAN ALARM PENDETEKSI SUHU TUBUH DIATAS NORMAL," *Sinusoida*, vol. XXIII, no. 1, 2021.
  - [31] "Datasheet SHT85," 2023. [Online]. Available: [www.sensirion.com](http://www.sensirion.com)
  - [32] "Gravity: Waterproof DS18B20 Temperature Sensor Kit," DFRobot Corp. Accessed: Aug. 03, 2023. [Online]. Available: <https://www.dfrobot.com/product-1354.html>
  - [33] P. Y.C., S. E., and S. D., "Rancang Bangun Anemometer Mangkok Dengan Uji Laboratorium dan Lapangan," Semarang, 2015.
  - [34] "RS485 Wind Speed Transmitter (0~32.4m/s)," DFRobot Corp. Accessed: Aug. 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.dfrobot.com/product-2339.html>
  - [35] "How do Rain Sensors Work," DFRobot Corp. Accessed: Jul. 26, 2023. [Online]. Available: [https://wiki.dfrobot.com/How\\_do\\_Rain\\_Sensors\\_Work](https://wiki.dfrobot.com/How_do_Rain_Sensors_Work)
  - [36] "Gravity: Tipping Bucket Rainfall Sensor - I2C & UART," DFRobot Corp. Accessed: Jul. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.dfrobot.com/product-2689.html>
  - [37] A. Pratama, Muhaimin, and Jamaluddin, "RANCANG BANGUN ALAT INSTRUMENTASI MENGHITUNG KECEPATAN DAN ARAH ANGIN BERBASIS ARDUINO," *JURNAL TEKTRONIKA*, vol. 2, no. 2, 2018.
  - [38] "RS485 Wind Vane Direction Sensor," DFRobot Corp. Accessed: Aug. 03, 2023. [Online]. Available: <https://www.dfrobot.com/product-2340.html>
  - [39] M. Taştan and H. Gökozan, "Real-time monitoring of indoor air quality with internet of things-based e-nose," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol.

- 9, no. 16, Aug. 2019, doi: 10.3390/app9163435.
- [40] “Gravity: MEMS Gas Sensor (CO, Alcohol, NO<sub>2</sub> & NH<sub>3</sub>) - I2C - MiCS-4514,” DFRobot Corp. Accessed: Aug. 05, 2023. [Online]. Available: <https://www.dfrobot.com/product-2417.html>
  - [41] S. 1 Oyelami, N. A. Azeez, S. A. Adedigba, O. J. Akinola, and R. M. Ajayi, “A Pyranometer for Solar Radiation Measurement-Review,” *Adeleke University Journal of Engineering and Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 61–68, 2020.
  - [42] “RS485 1W total solar radiation sensor sun radiation meter solar radiation meter sensor Solar Pyranometer Sun Radiation Detector,” AliExpress. Accessed: Aug. 20, 2023. [Online]. Available: [https://id.aliexpress.com/item/1005004417770153.html?spm=a2g0o.productlist.main.35.392d25660HHOSI&algo\\_pvid=73558af4-cf98-4f7f-9393-f4f138c8e281](https://id.aliexpress.com/item/1005004417770153.html?spm=a2g0o.productlist.main.35.392d25660HHOSI&algo_pvid=73558af4-cf98-4f7f-9393-f4f138c8e281)
  - [43] Arduino Documentation Team, “Getting Started with Arduino — Arduino Software Tools,” 2023. [Online]. Available: <https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/getting-started-arduino/#arduino-software-tools>
  - [44] Node-RED Project, “Node-RED: Low-code programming for event-driven applications,” 2023.
  - [45] PostgreSQL Global Development Group, “About PostgreSQL,” 2023.
  - [46] V. Mishra and R. Tripathi, “Internet of Things (IoT) Based Weather Monitoring System,” in *2020 11th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, IEEE, 2020, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICCCNT49239.2020.9225519.
  - [47] Cisco Systems Inc., “PoE for Industrial Automation: Power, Data and Control over a Single Cable,” 2023. [Online]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/networking/industrial-switches/poe-ind-data-control-single-cable-so.html>
  - [48] J. H. M., *Metoda pengumpulan dan teknik analisis data*. Penerbit Andi, 2018.
  - [49] J. D. Kelleher and B. Tierney, *Data Science*. MIT Press, 2018.

- [50] D. J. Sheskin, *Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures*, 6th ed. Chapman and Hall/CRC, 2020.
- [51] M. Arhami and M. Nasir, *Data Mining - Algoritma dan Implementasi*. Penerbit Andi, 2020.
- [52] World Meteorological Organization, *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*, WMO-No. 8. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, 2018. [Online]. Available: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10235](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10235)
- [53] LI-COR Environmental, “Estimating the Flux Footprint.” Accessed: Mar. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.licor.com/support/EddyPro/topics/estimating-flux-footprint.html>
- [54] *INSTRUCTION MANUAL: 03001 R.M. Young Wind Sentry Set 03101 R.M. Young Wind Sentry Anemometer 03301 R.M. Young Wind Sentry Vane*, 8th ed. Utah: Campbell Scientific, INC. [Online]. Available: [www.campbellsci.com](http://www.campbellsci.com)
- [55] “Microclimate.” Accessed: Nov. 03, 2023. [Online]. Available: <https://microclimate.isi-net.org/>