

**IMPLEMENTASI SISTEM *MONITORING* KLIMATOLOGI MIKRO
PADA TANAMAN HORTIKULTURA DALAM *SMART GREENHOUSE*
BERBASIS *INTERNET OF THINGS***

(Skripsi)

Oleh

AULIYA SYAHPUTRA SIREGAR

2015031057



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

IMPLEMENTASI SISTEM *MONITORING* KLIMATOLOGI MIKRO PADA TANAMAN HORTIKULTURA DALAM *SMART GREENHOUSE* BERBASIS *INTERNET OF THINGS*

Oleh :

AULIYA SYAHPUTRA SIREGAR

Penelitian ini mengembangkan sistem *monitoring* klimatologi mikro berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk tanaman hortikultura dalam *smart greenhouse*. Sistem ini memanfaatkan sensor kecepatan angin, arah angin, tekanan udara, suhu, dan kelembaban udara untuk memantau dan mengendalikan kondisi lingkungan secara *real-time* dan efisien. Implementasi ini bertujuan meningkatkan efektivitas pengelolaan iklim mikro, sehingga menciptakan kondisi optimal bagi pertumbuhan tanaman. Data yang dikumpulkan diintegrasikan dengan *Intelligence Control System* (ICS), mendukung pengelolaan operasional *greenhouse* yang efisien meskipun detail implementasi ICS tidak dibahas dalam penelitian ini. Pengujian lapangan dari Maret hingga Mei 2024 mengumpulkan data setiap dua detik yang dikirimkan ke *server* MQTT. Hasil menunjukkan bahwa sensor DHT22 dan BMP388 memiliki keandalan tinggi dengan persentase data normal sekitar 84,49%, sedangkan sensor arah angin mencapai 83,39%. Sensor kecepatan angin, dengan persentase 71,62%, mengalami penurunan karena *non-aktifnya* sensor setelah 20 Mei. Sistem *monitoring* ini terbukti efektif dalam mendukung pengelolaan *greenhouse* dengan menyediakan data akurat dan andal untuk keputusan manajemen yang tepat, serta mendukung pertanian berkelanjutan melalui efisiensi penggunaan sumber daya dan pengurangan dampak lingkungan.

Kata Kunci: *Smart Greenhouse*, *Internet of Things* (IoT), Sistem *Monitoring* Klimatologi Mikro, Pertanian Presisi, *Intelligence Control System* (ICS).

ABSTRACT

IMPLEMENTATION OF MICRO CLIMATOLOGY MONITORING SYSTEM ON HORTICULTURAL PLANTS IN SMART GREENHOUSE BASED ON INTERNET OF THINGS

By :

AULIYA SYAHPUTRA SIREGAR

This study developed a microclimate monitoring system based on the Internet of Things (IoT) for horticultural plants in a smart greenhouse. The system utilizes wind speed, wind direction, air pressure, temperature, and humidity sensors to monitor and control environmental conditions in real-time and efficiently. The implementation aims to enhance the effectiveness of microclimate management, thereby creating optimal conditions for plant growth. The collected data is integrated with an Intelligence Control System (ICS), supporting efficient operational management of the greenhouse, although the details of ICS implementation are not discussed in this study. Field testing from March to May 2024 collected data every two seconds, which was transmitted to an MQTT server. The results showed that the DHT22 and BMP388 sensors had high reliability, with normal data percentages of around 84.49%, while the wind direction sensor achieved 83.39%. The wind speed sensor, with a percentage of 71.62%, experienced a decline due to the sensor being deactivated after May 20. This monitoring system proved effective in supporting greenhouse management by providing accurate and reliable data for informed decision-making, and it supports sustainable agriculture through efficient resource use and reduced environmental impact.

Keywords: Smart Greenhouse, Internet of Things (IoT), Microclimate Monitoring System, Precision Agriculture, Intelligence Control System (ICS).

**IMPLEMENTASI SISTEM *MONITORING* KLIMATOLOGI MIKRO
PADA TANAMAN HORTIKULTURA DALAM *SMART GREENHOUSE*
BERBASIS *INTERNET OF THINGS***

Oleh

Auliya Syahputra Siregar

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2024

Judul Skripsi : **IMPLEMENTASI SISTEM
MONITORING KLIMATOLOGI
MIKRO PADA TANAMAN
HORTIKULTURA DALAM SMART
GREENHOUSE BERBASIS INTERNET
OF THINGS**

Nama Mahasiswa : **Auliya Syahputra Siregar**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2015031057

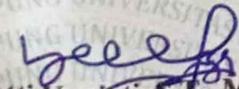
Program Studi : Teknik Elektro

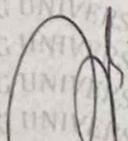
Fakultas : Teknik



MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

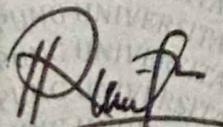

Yetti Yuniati, S.T., M.T.
NIP. 19800113 2009122 002

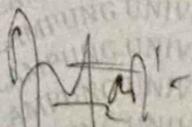

Dr.-ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.
NIP. 19731128 1999031 005

2. Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ketua Program Studi Teknik Elektro

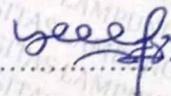

Herlinawati, S.T., M.T.
NIP. 19710314 199903 2 001


Sumadi, S.T., M.T.
NIP. 19731104 2000031 001

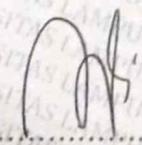
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Yetti Yuniati, S.T., M.T.



Sekretaris : Dr.-ing Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.



Penguji : Misfa Susanto, S.T., M.Sc., Ph.D.



2. Dekan Fakultas Teknik



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

NIP. 19750928 2001121 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 07 Agustus 2024

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini yang berjudul “Implementasi Sistem *Monitoring* Klimatologi Mikro Pada Tanaman Hortikultura Dalam *Smart Greenhouse* Berbasis *Internet Of Things*” tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat atas diterbitkannya oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar Pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

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

Bandar Lampung, 09 Oktober 2024



Arya Syahputra Siregar
NPM. 2015031057

RIWAYAT HIDUP

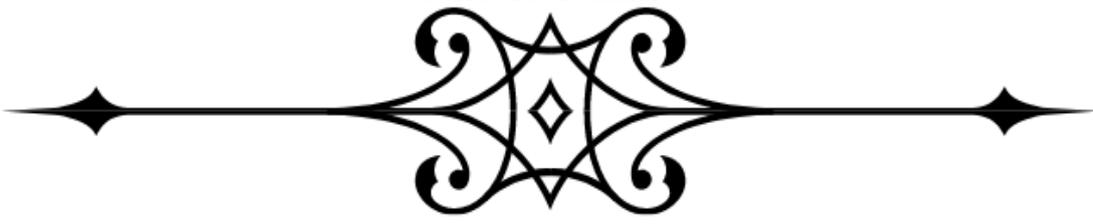


Penulis Lahir di Jakarta pada tanggal 09 Oktober 2001 sebagai anak kedua dari lima bersaudara dari pasangan Alm. Rahang Siregar dan Ibu Tiamrina Harahap. Penulis memulai pendidikan di TK ISLAM NAMIRA Bekasi pada tahun 2007, SDN Jatiluhur 02 pada tahun 2007 hingga 2014, SMPN 24 Bekasi pada tahun 2014 hingga 2017 dan SMK Insan Nasional Bekasi sekaligus Pondok Pesantren Nurul Huda Setu pada tahun 2017 hingga 2020.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung pada tahun 2020 melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif berorganisasi pada Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) Universitas Lampung sebagai Anggota Departemen Sosial dan Kewirausahaan pada periode 2021 dan Departemen Pendidikan dan Pengembangan Diri periode 2022. Selain itu, saya juga menjadi beswan aktif di Kartu Indonesia Pintar. Sebagai anggota aktif, saya turut aktif di Laboratorium Telekomunikasi sebagai asisten selama tahun 2022 s.d. 2024 dan dalam organisasi lain yaitu BIROHMAH dan FOSSI-FT.

Pada semester 5, saya memilih mengambil konsentrasi Telekomunikasi dan Teknologi Informasi. Pencapaian saya yaitu berhasil membawa Himatro Unila mendapatkan pendanaan pada kegiatan PPK Ormawa Kemendikbud Ristek Tahun 2023 dan lolos pendanaan Program Mahasiswa Wirausaha (PMW) 2023. Selain itu, saya memiliki pengalaman magang selama satu semester di PT.Ozami Inti Sinergi. Pencapaian ini mencerminkan komitmen saya terhadap pengembangan diri, kontribusi dalam bidang teknologi, dan partisipasi aktif dalam kehidupan kampus. Saya berharap dapat terus berkontribusi dalam meningkatkan kualitas dan eksplorasi di dunia teknologi melalui perjalanan akademis dan kegiatan organisasi yang saya jalani.

PERSEMBAHAN



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillahirabbil'alaamin, Atas Izin Allah yang Maha Kuasa

Teriring shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad ﷺ

KUPERSEMBAHKAN KARYA KECIL INI UNTUK

Ayah dan Ibu Tercinta

**Alm. Rahang Siregar
&
Tiamrina Harahap**

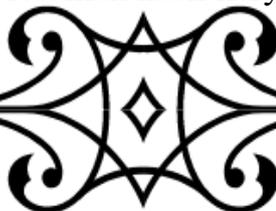
Dan Saudara – Sauradaku Tersayang:

**Syarif Hydayatullah Siregar
Mustofa Ulil Amri Siregar
Rahmat Kurniawan Siregar
Zakiyatus Solehah Siregar**

*Yang telah menjadi motivasi dan inspirasi serta tiada hentinya
memberikan dukungan dan do'a-nya:*

**Keluarga Besar H. Tongku Omsa Siregar, Helios
2020, Penampungan Rumah Amal, TELTI 2020,
Dosen dan Almamater**

Terimakasih untuk semua dukungan dan doa selama ini sehingga aku
dapat menyelesaikan hasil karya kecilku ini



MOTTO

لَا يُكَلِّفُ اللَّهُ نَفْسًا إِلَّا وُسْعَهَا

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.”
(Q.S Al-Baqarah:286)

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

“Maka, sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan.”
(Q.S Al-Insyirah:5)

"Barangsiapa menempuh suatu jalan untuk mencari ilmu, Allah akan memudahkan baginya jalan menuju surga." (HR. Muslim)

"Tidak ada pemberian seorang ayah kepada anaknya yang lebih utama daripada pendidikan yang baik." (HR. Tirmidzi)

"Ilmu adalah kehidupan Islam dan tiangnya iman." (HR. Bukhari)

"Ilmu adalah permata yang hilang, di mana pun kamu menemukannya, ambillah."
(Ali Bin Abi Thalib RA)

"Barangsiapa yang tidak tahan lelahnya belajar, maka ia akan menanggung perihnya kebodohan." (Imam Syafi'i)

“Apa yang melewatkanmu tidak akan pernah menjadi takdirku, dan apa yang ditakdirkan untukku tidak akan pernah melewatkanmu.” (Umar Bin Khattab RA)

SANWACANA

Segala puji bagi Allah Subhanahu wa ta'ala, atas limpahan nikmat-Nya yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam senantiasa dicurahkan kepada Nabi Muhammad sallallahu alaihi wasallam, suri teladan yang mampu membuka sesuatu yang terkunci, penutup dari semua yang terdahulu, penolong kebenaran dengan jalan yang benar, dan petunjuk kepada jalan-Mu yang lurus. Skripsi dengan judul “Implementasi Sistem *Monitoring* Klimatologi Mikro Pada Tanaman Hortikultura Dalam *Smart Greenhouse* Berbasis *Internet Of Things*” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Allah Subhanahu wa ta'ala yang telah memberikan rahmat, karunia, rezeki, kemudahan dan ilmu-Nya kepada penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua Orangtua tercinta Ayah Alm. Rahang Siregar dan Mamah Tiamrina Harahap, terimakasih atas segala doa, cinta, kasih sayang, bimbingan, arahan dan perjuangan dalam memberikan dukungan baik moril dan materil yang sangat berharga kepada penulis.
3. Saudara-saudara penulis Bang Syarif, Mustofa, Rahmat, dan Zakiyah yang telah memberikan doa dan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan pendidikan dan membuat bangga kedua orangtua.
4. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
6. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Kepala Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
7. Bapak Sumadi, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung dan telah memberikan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan studi

8. Ibu Yetti Yuniati, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan, arahan, masukan dan nilai-nilai kehidupan kepada penulis dengan baik dan ramah. Serta membantu penulis mempersiapkan diri menjadi seorang sarjana teknik.
9. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.. selaku dosen pembimbing pendamping yang telah memberikan nasihat, arahan, dan bimbingan rutin, motivasi, dan pandangan kehidupan kepada penulis di setiap kesempatan dengan baik dan ramah dalam mempersiapkan diri menjadi seorang Sarjana Teknik.
10. Bapak Misfa Susanto, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun kepada penulis dalam mengerjakan skripsi ini.
11. Ibu Endah Komalasari, DR. ENG sebagai Dosen Pembimbing Akademik, yang telah banyak membimbing dan membantu penulis selama menjalani kuliah.
12. Segenap Dosen di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, wawasan, dan pengalaman bagi penulis.
13. Segenap Staff di Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik yang telah sangat membantu penulis baik dalam hal administrasi dan hal-hal lainnya.
14. Keluarga besar HELIOS 2020 dan teman teman PSTE 2020 terima kasih telah memberikan banyak bantuan dan motivasi serta sudah menjadi keluarga selama awal kuliah sampai saat ini.
15. Teman dekat, Ibu dan Ayah Amal di Penampungan Rumah Amal terima kasih telah memberikan banyak bantuan dan motivasi serta sudah menjadi keluarga selama awal kuliah sampai saat ini.
16. TELTI 2020, terimakasih atas semangat dan kebersamaannya selama menempuh pendidikan di Jurusan Teknik
17. Keluarga besar HIMATRO UNILA yang selalu memberikan dukungan kepada penulis dalam penyelesaian skripsi.
18. Seluruh Tim Project PPK ORMAWA GISTING yang telah memberikan bantuan serta dorongan penulis dalam penyelesaian project yang dibuat.

19. Seluruh Tim Capstone Project AGRI-ICS yang telah memberikan bantuan serta dorongan penulis dalam penyelesaian project yang dibuat.
20. Semua pihak yang terlibat dalam proses perkuliahan dan penulisan skripsi ini penulis ucapkan terimakasih atas bantuan dan kerjasamanya.
21. Terimakasih kepada diri penulis sendiri yang sudah berusaha dan yakin dalam mengerjakan apa yang telah dimulai, dan tidak menyerah terhadap impian dan cita-cita yang diimpikan. Terimakasih sudah berjuang dan berhasil menyelesaikan salah satu tahap dalam hidup, dan semangat dalam menghadapi tantangan-tantangan yang akan dihadapi kedepannya.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Penulis terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun dari semua pihak demi kemajuan bersama. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Alhamdulillahrabbi'aalaamin.

Bandar Lampung, 09 Oktober 2024

Auliya Syahputra Siregar

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
SURAT PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN	viii
MOTTO	ix
SANWACANA.....	x
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Penelitian Terkait	6
2.2 Iklim Mikro	13
2.3 <i>Greenhouse</i>	13

2.4	Tanaman Hortikultura	15
2.5	<i>Internet of Things</i> (IoT).....	16
2.6	Arduino IDE	17
2.7	<i>Raspberry pi</i>	17
2.8	ESP32 DevKit V1	18
2.9	Sensor Angin	20
2.9.1	Sensor kecepatan Angin.....	20
2.9.2	Sensor Arah Angin.....	21
2.10	Sensor BMP388.....	22
2.11	Sensor DHT 22	23
2.12	Modul XY-485	25
2.13	<i>Monitoring</i>	25
2.14	<i>Node Red</i>	26
2.15	MQTT (<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>)	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		28
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	28
3.2	<i>Capstone Project</i>	28
3.3	Komponen Perangkat Keras dan Perangkat Lunak.....	30
3.4	Diagram Alir Penelitian.....	31
3.4.1	Studi Literatur Terbimbing	33
3.4.2	Rancangan Perangkat dan Sistem	33
3.4.3	Pengujian Tiap Sensor	33
3.4.4	Pembangunan Perangkat	34
3.5	Kalibrasi Sensor	34
3.5.1	Kalibrasi Sensor Suhu dan Kelembaban (DHT22).....	34
3.5.2	Kalibrasi Sensor Tekanan (BMP388).....	35

3.5.3 Kalibrasi Sensor Kecepatan Angin	35
3.5.4 Kalibrasi Sensor Arah Angin	35
3.6 Skema Sistem Klimatologi Mikro	36
3.7 Perancangan Komunikasi Perangkat	37
3.8 Perancangan <i>Wiring</i> Diagram Perangkat Klimatologi Mikro	38
3.9 Perancangan Catu Daya Perangkat Klimatologi Mikro	41
3.10 Perancangan <i>Schematic</i> Diagram PCB Perangkat Klimatologi Mikro	43
3.11 Diagram Blok Pengujian Sensor.....	46
3.12 Diagram Alir Program Sistem <i>Monitoring</i> Klimatologi Mikro	48
3.13 Indikator Keberhasilan Perancangan Alat	51
3.14 Pembuatan Laporan	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	54
4.1 Hasil Perancangan Perangkat Klimatologi Mikro	54
4.2 Hasil Perancangan PCB Perangkat Klimatologi Mikro	54
4.3 Kalibrasi Perangkat Klimatologi Mikro	58
4.3.1 Kalibrasi Sensor DHT22.....	58
4.3.2 Kalibrasi Sensor BMP388	61
4.3.3 Kalibrasi Sensor <i>Wind Speed</i>	62
4.3.4 Kalibrasi Sensor <i>Wind Direction</i>	63
4.4 Realisasi Perangkat Klimatologi Mikro	65
4.5 Pengujian Perangkat Klimatologi Mikro.....	68
4.5.1 Pengujian Fungsionalitas Sensor	69
4.5.2 Pengujian Sensor <i>Wind Direction</i>	69
4.5.3 Pengujian Sensor <i>Wind Speed</i>	69
4.5.4 Pengujian Sensor DHT22 dan BMP388.....	70
4.6 Pengujian Pengiriman Data	71

4.6.1 Pengambilan data <i>Timestamp</i>	71
4.6.2 Komunikasi ESP32— <i>Raspberry Pi</i>	71
4.6.3 Komunikasi <i>Raspberry Pi</i> — <i>MQTT Server</i>	72
4.7 Data Hasil Perangkat Klimatologi Mikro.....	75
4.7.1 Profil Data.....	75
4.7.2 Data Sensor DHT 22.....	79
4.7.3 Data BMP388	81
4.7.4 Data <i>Wind Speed</i>	85
4.7.5 Data <i>Wind Direction</i>	88
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	90
5.1 Kesimpulan.....	90
5.2 Saran.....	91
DAFTAR PUSTAKA.....	93
LAMPIRAN.....	96

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 <i>State of The Art / Roadmap</i> Penelitian	12
Gambar 2.2 <i>Greenhouse</i>	14
Gambar 2.3 Tanaman Hortikultura	15
Gambar 2.4 Arduino IDE	17
Gambar 2.5 <i>Raspberry Pi Board</i>	18
Gambar 2.6 ESP32 DevKit V1	19
Gambar 2.7 Sensor kecepatan angin	20
Gambar 2.8 Sensor Arah Angin	22
Gambar 2.9 Sensor BMP388	23
Gambar 2.10 Sensor DHT22.....	24
Gambar 2.11 Modul RS-485	25
Gambar 2.12 Logo <i>Node Red</i>	26
Gambar 2.13 <i>Message Queuing Telemetry Transport</i> (MQTT)	27
Gambar 3.1 <i>Capstone Project</i>	29
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 3.3 Skema Sistem Klimatologi Mikro.....	37
Gambar 3.4 Skema Sistem Komunikasi Sensor Klimatologi Mikro	38
Gambar 3.5 <i>Wiring</i> Diagram Perangkat Klimatologi Mikro	40
Gambar 3.6 <i>Schematic</i> Diagram Catu Daya	42
Gambar 3.7 <i>Schematic</i> Diagram PCB Klimatologi Mikro.....	43
Gambar 3.8 Diagram Blok Pengujian Sensor	48
Gambar 3.9 Diagram Alir Program Sistem <i>Monitoring</i> Klimatologi Mikro	49
Gambar 4.1 Desain Perancangan PCB Perangkat Klimatologi Mikro	56
Gambar 4.2 Hasil Perancangan PCB Klimatologi Mikro	57
Gambar 4.3 Panel <i>Box</i> Perangkat <i>Monitoring</i> Klimatologi Mikro	66
Gambar 4.4 Letak Sensor BMP388	67
Gambar 4.5 Tiang Pemasangan Sensor.....	68
Gambar 4.6 USB Serial ESP32.....	72
Gambar 4.7 Diagram Alur Pengiriman Data Melalui <i>Node Red</i> dan <i>Raspberry Pi</i>	

ke MQTT.....	73
Gambar 4.8 Grafik Nilai Suhu BMP388 Selama 1 Minggu	81
Gambar 4.9 Data suhu BMP388 Satu Hari (Tanggal 20 April 2024).....	82
Gambar 4.10 Data Tekanan BMP388 Selama 1 Minggu.....	83
Gambar 4.11 Data Tekanan BMP388 Satu Hari (Tanggal 20 April 2024).....	84
Gambar 4.12 Grafik Kecepatan Angin <i>Wind Speed</i> Selama 1 Minggu	86
Gambar 4.13 Data Kecepatan Angin Satu Hari (Tanggal 20 April 2024).....	87
Gambar 4.14 Grafik Arah Angin <i>Wind Direction</i> Selama 3 Bulan	88
Gambar 4.1 Desain Perancangan PCB Perangkat Klimatologi Mikro.....	56
Gambar 4.2 Hasil Perancangan PCB Klimatologi Mikro	57
Gambar 4.3 Panel <i>Box</i> Perangkat <i>Monitoring</i> Klimatologi Mikro	66
Gambar 4.4 Letak Sensor BMP388	67
Gambar 4.5 Tiang Pemasangan Sensor.....	68
Gambar 4.6 USB Serial ESP32.....	72
Gambar 4.7 Diagram Alur Pengiriman Data Melalui <i>Node Red</i> dan <i>Raspberry Pi</i> ke MQTT	73
Gambar 4.8 Grafik Nilai Suhu BMP388 Selama 1 Minggu	81
Gambar 4.9 Data suhu BMP388 Satu Hari (Tanggal 20 April 2024).....	82
Gambar 4.10 Data Tekanan BMP388 Selama 1 Minggu.....	83
Gambar 4.11 Data Tekanan BMP388 Satu Hari (Tanggal 20 April 2024).....	84
Gambar 4.12 Grafik Kecepatan Angin <i>Wind Speed</i> Selama 1 Minggu	86
Gambar 4.13 Data Kecepatan Angin Satu Hari (Tanggal 20 April 2024)	87
Gambar 4.14 Grafik Arah Angin <i>Wind Direction</i> Selama 3 Bulan	88

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Penelitian Tekait	9
Tabel 2.2 Spesifikasi <i>Raspberry Pi 4 B</i>	18
Tabel 2.3 Spesifikasi Mikrokontroler ESP32 DevKit V1	19
Tabel 2.4 Spesifikasi Sensor kecepatan Angin	21
Tabel 2.5 Spesifikasi Sensor Arah Angin	22
Tabel 2.6 Spesifikasi Sensor BMP388.....	23
Tabel 2.7 Spesifikasi DHT22.....	24
Tabel 3.1 Komponen Perangkat Keras.....	30
Tabel 3.2 Komponen Perangkat Lunak.....	30
Tabel 3.3 Sistem Komunikasi Sensor	37
Tabel 3.4 <i>Pin IN-OUT</i> Komponen Perangkat Klimatologi Mikro.....	45
Tabel 3. 5 Spesifikasi PCB Klimatologi Mikro	46
Tabel 4.1 Kalibrasi Suhu Sensor DHT22.....	60
Tabel 4.2 Kalibrasi Kelembaban Sensor DHT22.....	61
Tabel 4.3 Kalibrasi Suhu Sensor BMP388	62
Tabel 4.4 Kalibrasi Kecepatan Angin Sensor <i>Wind Speed</i>	63
Tabel 4.5 Kalibrasi Arah Angin Sensor <i>Wind Direction</i>	64
Tabel 4.6 Profil Data Klimatologi Mikro Berdasarkan Parameter Sensor.....	76
Tabel 4.7 Persentase Keseluruhan Data Normal Per Kolom	78

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Greenhouse merupakan konstruksi (bangunan) yang berfungsi untuk memanipulasi lingkungan agar tercipta kondisi lingkungan yang diinginkan dan menghindari adanya hama dan penyakit yang terbawa angin. Pemeliharaan tanaman menggunakan *greenhouse* akan menyebabkan tanaman akan lebih terkontrol dan laju pertumbuhan tanaman akan lebih maksimal dibandingkan dengan tanaman yang berada di luar *greenhouse* [1]. Cuaca ekstrim di Indonesia yang terjadi beberapa tahun belakangan ini menimbulkan beberapa masalah dalam pertanian di Indonesia karena cuaca yang tidak menentu. Oleh karena itu *greenhouse* menjadi salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan iklim bagi pertanian di Indonesia. Akan tetapi, *greenhouse* konvensional tidak dapat mengatur kondisi lingkungan dan memantau perubahan cuaca di dalam *greenhouse* sehingga belum optimal terutama untuk memantau lingkungan, pengendalian suhu dan kelembaban serta mencegah hama pada tanaman. Pada pengendalian iklim mikro, *greenhouse* sangat penting perannya [2].

Revolusi Industri 4.0 merupakan fase terbaru dari perkembangan industri yang ditandai oleh integrasi teknologi digital dan fisik. Revolusi Industri 4.0 membawa perubahan mendasar dalam cara manusia bekerja, berinteraksi, dan hidup. Teknologi seperti *Artificial Intelligence* (AI), *Internet of Things* (IoT), robotika, komputasi awan, dan *big data analytics* menjadi inti dari perubahan besar ini [3].

Upaya peningkatan produksi tanaman dan mengurangi risiko hama dan

penyakit yang berasal dari tanah salah satunya penggunaan metode penanaman secara hidroponik dengan pengaturan nutrisi. Hidroponik dipengaruhi oleh suhu, kelembaban udara, pH, salinitas, cahaya, listrik, oksigen dan intensitas cahaya sehingga membutuhkan *greenhouse* sebagai stabilisator budidaya tanaman [4]. Pemanfaatan *precision agriculture* atau pertanian presisi merupakan implementasi teknologi informasi ke dalam dunia pertanian secara akurat. Pemanfaatan pertanian presisi salah satunya dengan penggunaan pertanian otomatis dan *Internet of Things* (IoT). Pertanian presisi dapat diaplikasikan pada segala macam budidaya pertanian seperti hidroponik dan *greenhouse* dengan penggunaan sensor [5]. Penggunaan sensor suhu, kelembaban, arah angin, kecepatan angin, dan tekanan udara pada *greenhouse* akan dapat mengidentifikasi efektifitas *greenhouse* untuk meningkatkan kondisi iklim mikro.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah perangkat sistem klimatologi mikro yang akan diimplementasikan di dalam *smart greenhouse* Laboratorium Lapang Terpadu Fakultas Pertanian. Sistem ini akan dirancang dengan memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT) guna memonitor dan mengendalikan secara efisien faktor lingkungan di dalam *smart greenhouse* tersebut. Melalui penerapan teknologi IoT, sistem klimatologi mikro ini akan mampu mengukur dan merekam data suhu, kelembaban, arah angin, kecepatan angin, tekanan udara, dan faktor-faktor lingkungan lainnya secara *real-time*. Sistem ini akan terintegrasi dengan alat *Intelligence Control System* (ICS) yang merupakan sistem pengendalian otomatis yang dapat merespons perubahan-perubahan lingkungan secara *instan*. Misalnya, jika suhu di dalam *smart greenhouse* meningkat di luar batas yang ditentukan, sistem otomatis dapat mengaktifkan pendingin otomatis atau sistem irigasi untuk menjaga kondisi lingkungan di dalam *smart greenhouse* tetap optimal bagi pertumbuhan tanaman.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penulisan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara mengatur kondisi iklim mikro di dalam *smart greenhouse* agar bisa disesuaikan dengan kebutuhan tanaman?
2. Bagaimana data sensor dari parameter iklim dapat diintegrasikan ke dalam sistem ICS (*Intelligent Control System*) untuk mengoptimalkan sistem *monitoring* dan pengelolaan *smart greenhouse* ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam laporan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem *monitoring* klimatologi mikro yang dibangun menggunakan sensor *Wind Speed*, *Wind Direction*, BMP388, dan DHT22 yang dapat mengakuisisi data berupa kecepatan angin, arah angin, tekanan udara, suhu udara, dan kelembaban udara.
2. Fokus penelitian ini terutama pada tanaman tomat dengan mempertimbangkan kebutuhan mikro klimatologi dan nutrisi khusus.
3. Penelitian ini hanya membahas dari perancangan perangkat hingga pengiriman data perangkat ke *Web Server* .
4. Penelitian ini tidak membahas *Intelligence Control System* (ICS).
5. Penelitian tidak mencakup pengolahan media tanam dan bibit tanaman yang digunakan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari laporan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan sebuah sistem yang dapat *memonitor* dan mengatur kondisi iklim mikro di dalam *greenhouse* untuk mendukung pertumbuhan

tanaman secara optimal.

2. Memastikan bahwa data iklim yang dikumpulkan dapat diintegrasikan sebagai *input* yang efektif bagi sistem ICS (*Intelligent Control System*) dalam mengelola operasional *greenhouse* secara efisien.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari laporan ini penelitian adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi terkait dengan kondisi iklim mikro *indoor* yang dapat digunakan untuk menciptakan kondisi yang sesuai dengan kebutuhan tanaman.
2. Meningkatkan produktivitas dan efisiensi operasional *greenhouse* melalui pengelolaan yang lebih baik dengan menggunakan data iklim mikro yang akurat.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan pada penelitian ini untuk memberikan suatu gambaran sederhana mengenai pembahasan penelitian serta untuk memudahkan pemahaman materi pada penelitian ini yang dituliskan menjadi beberapa bab, adalah sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

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

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang teori pendukung yang menjadi pengantar pemahaman dan berkaitan dengan materi penelitian yang diambil dari berbagai sumber ilmiah seperti buku, jurnal, maupun artikel ilmiah.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian memuat waktu dan tempat penelitian, *Capstone Project*, Alat dan Bahan, Diagram Alir Penelitian, dan Skematik Rangkaian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Membahas mengenai hasil implementasi teknologi yang telah diterapkan, data-data yang telah berhasil dikumpulkan, dan Analisa terhadap data klimatologi mikro.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Membahas mengenai hasil keseluruhan penelitian, Kesimpulan dari hasil Analisa dan fungsionalitas teknologi yang diterapkan, dan saran keberlanjutan penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Bab ini berisikan referensi dari penulisan dan pelaksanaan penelitian.

LAMPIRAN

Bab ini menjabarkan terkait lampiran-lampiran tambahan yang mendukung dan memperjelas penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian berjudul “*Low Cost and IoT based Greenhouse with Climate Monitoring and Controlling System for Tropical Countries*” dilakukan oleh Yasas Pansilu Jayasuriya dkk, pada tahun 2018 dari fakultas teknologi informasi *University of Moratuwa*. Tujuan dari jurnal "Stasiun Cuaca Berbasis IoT yang Efisien" adalah untuk menyajikan pendekatan baru terhadap pemanfaatan teknologi yang praktis dan bermakna dalam sistem stasiun cuaca cerdas. Penulis bertujuan untuk menyediakan sistem pemantauan cuaca yang hemat biaya, portabel, dan mudah digunakan yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi seperti pertanian, hutan hujan, dan tempat-tempat dengan kondisi tempat tinggal yang sulit. Sistem ini dirancang untuk sepenuhnya otomatis, memberikan peringatan awal mengenai situasi cuaca, dan telah menunjukkan akurasi dan stabilitas yang baik dibandingkan dengan stasiun cuaca ramah anggaran lainnya. Makalah ini juga memuat penjelasan rinci tentang usulan desain stasiun cuaca, fitur-fiturnya, aplikasi, dan hasil perbandingan data dengan informasi cuaca nasional [6].

Penelitian berjudul “*IoT based Weather Monitoring and Notification System for Greenhouse s*” dilakukan oleh Ravi Kishore Kodali dkk, pada tahun 2019 dari *Department Electronics and Communication Engineering, National Institute of Technology*. Pada penelitian ini membahas pengembangan sistem pemantauan cuaca berbasis IoT untuk rumah kaca. Penelitian ini menyoroti

pentingnya memantau parameter cuaca seperti suhu, kelembaban, cahaya, dan tekanan udara di rumah kaca untuk memastikan pertumbuhan tanaman yang optimal. Selain itu, jurnal ini juga membahas penggunaan *Internet of Things* (IoT) dalam membangun stasiun cuaca yang dapat memantau parameter cuaca secara *real-time*, menyimpan data ke *platform cloud*, dan memberikan notifikasi jika terjadi deviasi dari nilai yang diharapkan. Teknologi IoT memungkinkan pemantauan parameter cuaca secara *real-time* di rumah kaca, seperti suhu, kelembaban, cahaya, dan tekanan udara. Dengan informasi yang akurat tentang kondisi cuaca, petani dapat mengambil keputusan yang lebih tepat terkait pengairan, pencahayaan, dan ventilasi tanaman. Selain itu, sistem ini juga dapat memberikan notifikasi secara otomatis jika terjadi deviasi dari kondisi cuaca yang diinginkan, sehingga petani dapat merespons dengan cepat untuk melindungi tanaman dari kerusakan akibat perubahan cuaca [7].

Perbedaan antara penelitian yang dilakukan Ravi Kishore Kodali dan penelitian yang dilakukan penulis adalah pada penelitian ini menggunakan jenis mikrokontroler ARM Cortex-M3 *Multi-Standard Wireless* CC2650, serta beberapa sensor untuk *weather station* yaitu sensor TMP007 untuk *monitoring* suhu, sensor HDC1000 untuk *monitoring* kelembaban dan sensor BMP388 untuk *monitoring* tekanan udara. Sedangkan pada penelitian yang penulis lakukan menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor DHT22 untuk *monitoring* suhu dan kelembaban, BMP388 untuk *monitoring* tekanan udara, sensor arah angin untuk *monitoring* arah angin, dan sensor kecepatan angin untuk *monitoring* kecepatan angin.

Penelitian berjudul “*Development Of An Automated System To Monitor And Control A Greenhouse* ” dilakukan oleh Sorin Iulian Cosman dkk, pada tahun 2019 dari *Department of Electrical Machines Technical University of Cluj-Napoca Cluj-Napoca*. Penelitian ini membahas pentingnya melindungi sumber daya pangan dengan mengoptimalkan konsumsi air dan mengurangi faktor manusia dalam bercocok tanam. Sistem otomatis yang diusulkan

bertujuan memantau dan mengontrol suhu, kelembaban, karbon dioksida, dan faktor lain yang memengaruhi pertumbuhan tanaman. Jurnal ini juga membahas jenis-jenis rumah kaca, sistem otomatisasi, dan hasil uji coba sistem otomatisasi pada rumah kaca skala kecil. Selain itu, jurnal ini juga membahas penggunaan logika kabur dalam sistem kontrol otomatis. Hasil uji coba menunjukkan bahwa sistem otomatisasi dapat mengurangi konsumsi air tahunan dan mempertahankan suhu dalam rentang yang diinginkan. Jurnal ini juga menyebutkan bahwa sistem otomatisasi dapat ditingkatkan melalui kolaborasi dengan perusahaan di bidang ini dan melalui pengujian ulang. Tujuan dari sistem otomatisasi yang dikembangkan dalam jurnal tersebut adalah untuk mengembangkan sistem otomatis yang mengurangi faktor manusia dalam mengelola rumah kaca dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya pangan. Sistem ini bertujuan untuk memantau dan mengontrol suhu, kelembaban, karbon dioksida, dan faktor lain yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Selain itu, sistem otomatisasi ini juga bertujuan untuk mengurangi konsumsi air dan menjaga keadaan tanaman seimbang. [8].

Perbedaan antara penelitian yang dilakukan Sorin Iulian Cosman dan penelitian yang dilakukan penulis adalah pada penelitian ini hanya *memonitoring* suhu dan kelembaban untuk memantau sistem. Sedangkan pada penelitian yang penulis lakukan adalah *memonitoring* suhu, kelembaban, arah angin, kecepatan angin, dan tekanan udara di dalam *greenhouse* .

Penelitian berjudul “*Smart Greenhouse System On Paprican Plants Based On Internet of Things*” dilakukan oleh Sandi Pamungkas pada tahun 2019 dari Institut Teknologi Bandung. Pada penelitian ini membahas tentang metode *greenhouse* yang diterapkan pada tanaman paprika, akan tetapi kondisi *greenhouse* belum dapat dipantau dengan baik sehingga dibuat sistem *smart greenhouse* yang mempunyai fungsi untuk mengukur suhu, kelembaban udara, kelembaban tanah, pH air, dan penyiraman. Pada sebuah sistem *smart greenhouse* ini menggunakan beberapa jenis komponen elektronika

diantaranya sensor DHT-22, sensor kelembaban tanah kapasitif, dan sensor pH. Data-data yang dikirimkan oleh setiap sensor tadi nantinya akan dikirimkan ke *thingspeak* yang nantinya bisa kita akses dimana saja data-data tadi melalui *smartphone* atau laptop [9].

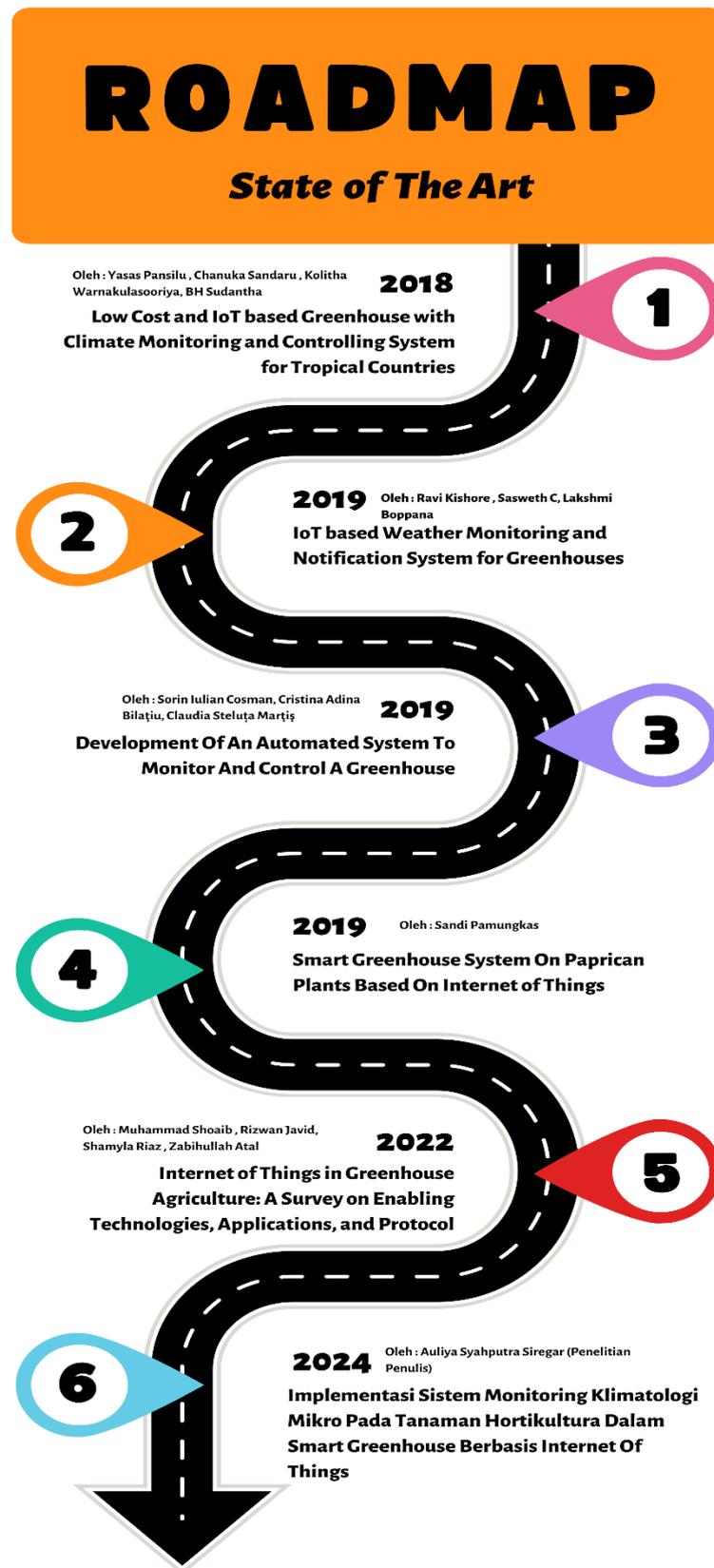
Penelitian berjudul “*Internet of Things in Greenhouse Agriculture: A Survey on Enabling Technologies, Applications, and Protocol*” dilakukan oleh Muhammad Shoaib Farooq dkk, pada tahun 2022. Tujuan dari jurnal ini adalah untuk menyajikan *hierarki* pada komponen-komponen utama dari pertanian rumah kaca berbasis IoT, serta membahas teknik pertanian rumah kaca, kategori pertanian rumah kaca berbasis IoT, teknologi jaringan, aplikasi seluler, dan tantangan penelitian terkait pertanian rumah kaca berbasis IoT. Teknologi yang digunakan dalam pertanian *greenhouse* mencakup teknologi jaringan, aplikasi seluler, sensor, dan kontrol lingkungan. Dalam jurnal ini, teknologi IoT (*Internet of Things*) digunakan untuk mengotomatisasi parameter pertanian rumah kaca seperti pemantauan tanaman, kontrol lingkungan internal, dan kontrol irigasi. Teknologi ini mencakup penggunaan sensor untuk mengumpulkan data tentang suhu, kelembaban, intensitas cahaya, dan kelembaban tanah, serta penggunaan jaringan nirkabel untuk mengumpulkan dan mendistribusikan data. Selain itu, teknologi aplikasi seluler digunakan untuk mengelola pertanian rumah kaca secara jarak jauh. [10].

Tabel 2.1 Penelitian Tekait

No	Judul Jurnal	Penulis dan Tahun	Perbedaan dengan Penulis
1	<i>Low Cost and IoT based Greenhouse with Climate Monitoring and Controlling System for Tropical Countries</i>	Yasas Pansilu Jayasuriya dkk, 2018	Penelitian ini menggunakan jenis mikrokontroler Arduino Mega, serta sensor untuk <i>weather station</i> di dalam <i>greenhouse</i> yaitu sensor BME280 untuk <i>monitoring</i> tekanan udara, suhu, dan kelembaban udara. Sedangkan pada penelitian yang penulis lakukan

No	Judul Jurnal	Penulis dan Tahun	Perbedaan dengan Penulis
			menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor DHT22 untuk <i>monitoring</i> suhu dan kelembaban, BMP388 untuk <i>monitoring</i> tekanan udara, sensor arah angin untuk <i>monitoring</i> arah angin, dan sensor kecepatan angin untuk <i>monitoring</i> kecepatan angin.
2	<i>IoT based Weather Monitoring and Notification System for Greenhouse s“</i>	Ravi Kishore Kodali dkk, 2019	Penelitian ini membahas penggunaan jenis mikrokontroler ARM Cortex-M3 <i>Multi-Standard Wireless CC2650</i> , serta beberapa sensor untuk <i>weather station</i> yaitu sensor TMP007 untuk <i>monitoring</i> suhu, sensor HDC1000 untuk <i>monitoring</i> kelembaban dan sensor BMP388 untuk <i>monitoring</i> tekanan udara. Sedangkan pada penelitian yang penulis lakukan menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor DHT22 untuk <i>monitoring</i> suhu dan kelembaban, BMP388 untuk <i>monitoring</i> tekanan udara, sensor arah angin untuk <i>monitoring</i> arah angin, dan sensor kecepatan angin untuk <i>monitoring</i> kecepatan angin.
3	<i>Development Of An Automated System To Monitor And Control A Greenhouse</i>	Sorin Iulian Cosman dkk, 2019	Penelitian ini hanya membahas <i>memonitoring</i> suhu dan kelembaban untuk memantau sistem. Sedangkan pada penelitian yang penulis lakukan adalah <i>memonitoring</i> suhu, kelembaban, arah angin, kecepatan angin, dan tekanan udara di dalam <i>greenhouse</i> .

No	Judul Jurnal	Penulis dan Tahun	Perbedaan dengan Penulis
4	<i>Smart Greenhouse System On Paprican Plants Based On Internet of Things</i>	Sandi Pamungkas, 2019	Penelitian ini hanya menggunakan sensor DHT22 untuk <i>monitoring</i> suhu dan kelembaban dan ESP8266 sebagai mikrokontroler. Sedangkan pada penelitian yang penulis lakukan menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor DHT22 untuk <i>monitoring</i> suhu dan kelembaban, BMP388 untuk <i>monitoring</i> tekanan udara, sensor arah angin untuk <i>monitoring</i> arah angin, dan sensor kecepatan angin untuk <i>monitoring</i> kecepatan angin.
5	<i>Internet of Things in Greenhouse Agriculture: A Survey on Enabling Technologies, Applications, and Protocol</i>	Muhammad Shoaib Farooq dkk, 2022	pada penelitian ini membahas micro climate hanya memonitoring tekanan udara, suhu, dan kelembaban, tetapi tidak menyebutkan jenis sensornya. Sedangkan pada penelitian yang penulis lakukan menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor DHT22 untuk <i>monitoring</i> suhu dan kelembaban, BMP388 untuk <i>monitoring</i> tekanan udara, sensor arah angin untuk <i>monitoring</i> arah angin, dan sensor kecepatan angin untuk <i>monitoring</i> kecepatan angin.



Gambar 2.1 *State of The Art / Roadmap* Penelitian

2.2 Iklim Mikro

Greenhouse dianggap sebagai solusi efektif dalam melindungi tumbuhan dari berbagai penyakit dan kondisi cuaca yang tidak menguntungkan. Fungsi utama dari sebuah *greenhouse* adalah menciptakan kondisi iklim *internal* yang dapat dikontrol. Hal ini bertujuan untuk menciptakan lingkungan yang mendukung pertumbuhan optimal tanaman.

Kelembaban yang terlalu rendah atau tinggi di dalam *greenhouse* dapat menyebabkan pertumbuhan jamur dan memperparah risiko infeksi penyakit pada tanaman. Oleh karena itu, perlu dilakukan modifikasi iklim mikro di dalam *greenhouse*, dengan fokus pada pengaturan suhu dan kelembapan. Keduanya merupakan faktor utama yang mempengaruhi kualitas dan kuantitas pertumbuhan tanaman, terutama dalam kasus pertanian tomat.

Melalui pengaturan iklim mikro yang tepat, *greenhouse* dapat mewujudkan kondisi optimal yang mendukung pertumbuhan tanaman tomat secara maksimal. Hal ini tidak hanya memastikan hasil panen yang lebih baik, tetapi juga memberikan perlindungan tambahan terhadap potensi risiko penyakit dan cuaca ekstrem yang dapat merugikan pertumbuhan tanaman. Sebagai hasilnya, modifikasi iklim mikro di dalam *greenhouse* menjadi langkah penting dalam meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil pertanian.

2.3 *Greenhouse*

Greenhouse atau rumah kaca merupakan salah satu sistem budidaya terlindungi yang banyak digunakan dalam hortikultura saat ini. *Greenhouse* adalah teknologi digunakan untuk mengkondisikan faktor iklim yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Cahaya matahari langsung dan curah hujan berlebihan dapat ditangani dengan menggunakan *greenhouse*. *Greenhouse* juga berfungsi sebagai tempat yang baik untuk budidaya tanaman karena mengurangi hama dan cuaca ekstrim [11]. Ketika sinar matahari melewati bahan transparan atau translusen, itu mengenai

permukaan yang tidak tembus pandang seperti daun tanaman, lantai rumah kaca, dan lain-lain. Sebagian dari energi cahaya kemudian diubah menjadi panas. Ini membantu menjaga agar udara di dalam rumah kaca tetap lebih hangat daripada lingkungan di luar.



Gambar 2.2 *Greenhouse*

Teknologi *greenhouse* sangat luas digunakan di negara-negara seperti Jerman, Swedia, Swiss, Belanda, Amerika Serikat, Jepang, dll. Sebagian besar negara maju sudah menerapkan dan berusaha meningkatkan teknologi *greenhouse* yang lebih canggih. Beberapa keuntungan dari penggunaan sistem *greenhouse* meliputi perpanjangan musim tanam, panen produk berkualitas baik, perlindungan tanaman dari perubahan iklim yang berbahaya, dan penyakit serta hama, dan lain-lain. [12].

2.4 Tanaman Hortikultura

Hortikultura adalah cabang dari ilmu pertanian yang mempelajari budidaya buah-buahan, sayuran, dan tanaman hias. Tanaman hortikultura memiliki berbagai fungsi, seperti sebagai sumber bahan makanan, hiasan/keindahan, obat-obatan, dan juga sebagai pekerjaan. Para pakar mendefinisikan hortikultura sebagai ilmu yang mempelajari budidaya tanaman sayuran, buah-buahan, bunga-bunga, dan tanaman hias. Tanaman hortikultura dapat diklasifikasikan menjadi tanaman hortikultura yang dikonsumsi, seperti sayuran dan buah-buahan, serta tanaman hortikultura yang tidak dikonsumsi, seperti tanaman hias. Hortikultura memiliki potensi pengembangan yang baik karena dapat memenuhi berbagai kebutuhan, seperti kebutuhan jasmani sebagai sumber vitamin, mineral, dan protein, serta kebutuhan rohani karena dapat memberikan rasa tenteram, ketenangan hidup, dan estetika [13].



Gambar 2.3 Tanaman Hortikultura

Produk Hortikultura merupakan produk yang cepat rusak (kehilangan berat dan kualitas), secara umum produk hortikultura yang telah dipanen sebelum sampai kepada konsumen atau dalam masa penyimpanan dapat rusak yang disebabkan oleh kehilangan air dari produk yang telah dipanen. Jika kehilangan air tersebut dalam jumlah relative kecil maka masih bisa ditolelir dan tidak menyebabkan kerugian tetapi jika kehilangan air dari produk yang telah dipanen tersebut dalam jumlah besar akan menyebabkan produk hasil panen menjadi layu, dan bahkan dapat mengakibatkan produk hortikultura

tersebut menjadi mengerut. Oleh karena itu pengangkutan menjadi sangat penting untuk menjamin distribusi cepat dan tepat sampai ditujuan dengan minimalisir tingkat kerusakan, artinya system pengangkutan yang buruk dapat menghilangkan sebagian atau keseluruhan nilai produk , sehingga penyimpanan produk harus ditangani secara baik untuk mengurangi turunya mutu dan nilai produk melalui penerapan *Good Handling Practices* (GHP) [14].

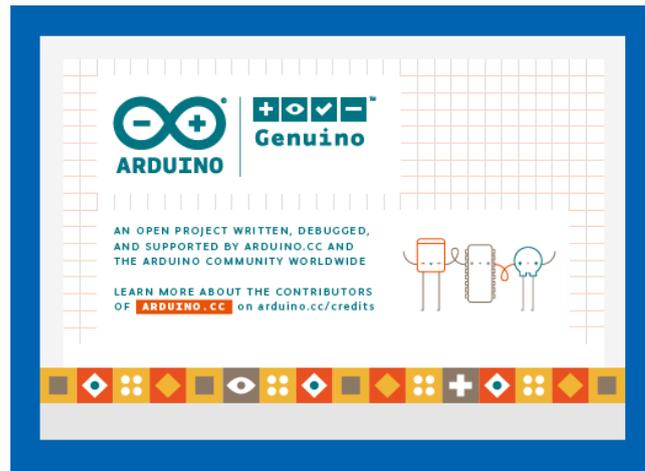
2.5 *Intenet of Things* (IoT)

IoT adalah suatu singkatan dari *Internet Of Things* yang memiliki arti bahwa internet adalah segalanya. Hal ini memberi makna bahwa suatu konsep saat suatu benda mempunyai teknologi seperti sensor dan *software* memiliki tujuan dalam berkomunikasi, menghubungkan, bertukar data menggunakan perangkat lain saat terhubung ke *internet*. Hal ini membuktikan bahwa internet berperan aktif dalam aktivitas digital sehari-hari. Dengan adanya hal tersebut maka tentu akan mempermudah ketika ingin melakukan transfer data atau berkomunikasi kepada seseorang selama masih memiliki koneksi dengan *internet*. IoT adalah salah satu teknologi memiliki hubungan erat terhadap istilah *Machine-to-Machine* (M2M). Alat yang digunakan pada M2M mampu berkomunikasi sehingga disebut *smart devices* atau perangkat cerdas [15].

Tujuan diciptakannya perangkat cerdas atau *smart devices* semata-mata untuk membantu dan menjadi solusi atas penyelesaian berbagai masalah atau urusan serta tugas yang dimiliki manusia. Menanggapi hal tersebut, IoT adalah salah satu kemudahan diciptakan agar membantu kerja setiap orang. Untuk mengembangkan teknologi ini tentu tidak mudah ada beberapa langkah perlu ditempuh dalam menciptakan kemudahan bagi manusia.

2.6 Arduino IDE

Arduino IDE adalah *Integrated Development Environment* yang digunakan untuk menulis, mengedit, dan mengunggah program ke papan Arduino. IDE ini terdiri dari bahasa pemrograman, *hardware*, dan *software*.



Gambar 2.4 Arduino IDE

Arduino IDE dibuat dari bahasa pemrograman JAVA dan dilengkapi dengan *library C/C++ (wiring)* yang membuat operasi *input/output* lebih mudah. IDE ini dapat memodelkan sifat dari parameter rangkaian analog dan digital, memeriksa sifat dari keseluruhan rangkaian dengan melakukan analisis AC/DC atau *transient*, dan dapat memodelkan berbagai rancangan rangkaian.

2.7 Raspberry pi

Raspberry Pi merupakan modul komputer papan tunggal yang juga memiliki *input output digital port* seperti pada papan mikrokontroler. Kelebihan dari *Raspberry Pi* ini adanya *port* atau koneksi untuk display seperti televisi atau monitor PC serta koneksi USB untuk *keyboard* dan *mouse*. *Raspberry Pi* memiliki *input* dan *output* antara lain HDMI yang dapat dihubungkan ke LCD

TV yang mempunyai *port* HDMI atau menggunakan *cable converter* HDMI ke *micro usb* yang dapat dihubungkan ke *monitor* PC. Video analog (*RCA port*) yang dihubungkan ke televisi sebagai salah satu cara jika tidak memilih *monitor* PC .



Gambar 2.5 *Raspberry Pi Board*

Spesifikasi detail *Raspberry Pi 4B* dapat dilihat pada Tabel 2.2.

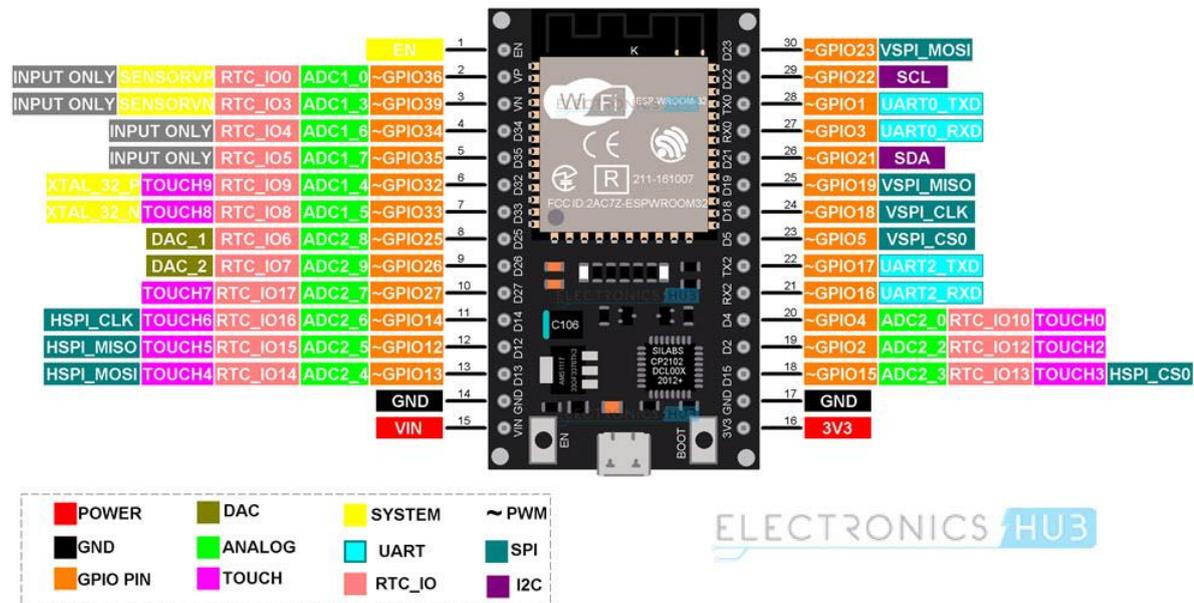
Tabel 2.2 Spesifikasi *Raspberry Pi 4B*

<i>Atribut</i>	<i>Specifications</i>
<i>Brand Category</i>	<i>Raspberry Pi</i>
<i>CPU</i>	<i>64 bit 1,5 ghz quad core</i>
<i>Rom Size</i>	<i>8 gb</i>
<i>WiFi Protocols</i>	<i>802,11n wireless2,4ghz/5ghz double screen</i>
<i>Bluetooth</i>	<i>5,0 bluetooth</i>
<i>Ethernet</i>	<i>gigabit ethernet</i>
<i>USB</i>	<i>2 x usb2,0, 2 x usb 3,0</i>
<i>Number Of I/O</i>	<i>40</i>
<i>2 x micro hdmi,mipi dsi,mipi csi</i>	<i>2 x micro hdmi,mipi dsi, dan mipi csi</i>
<i>Multimedia Support</i>	<i>h.265, h.264, dan opengl es</i>
<i>Card Type</i>	<i>micro sd</i>
<i>Power Supply Type</i>	<i>usb type C</i>
<i>Power Supply</i>	<i>5V 3A</i>
<i>Resolution</i>	<i>4k double screen</i>
<i>Temperature Range</i>	<i>0 C ~ + 50 C</i>

2.8 ESP32 DevKit V1

ESP32 adalah Mikrokontroler *System on Chip* (SoC) berbiaya rendah dari *Espressif Systems*, pengembang SoC ESP8266 yang terkenal. Ini adalah penerus SoC ESP8266 dan hadir dalam variasi *single-core* dan *dual-core* dari

Mikroprosesor *Xtensa LX6 32-bit Tensilica* dengan *Wi-Fi* dan *Bluetooth* terintegrasi. Hal yang baik tentang ESP32, seperti ESP8266 adalah komponen RF terintegrasi seperti *Power Amplifier*, *Low-Noise Accept Amplifier*, *Antenna Switch*, *Filter* dan RF Balun. Hal ini membuat perancangan perangkat keras di sekitar ESP32 menjadi sangat mudah karena hanya memerlukan sedikit komponen *eksternal* [16].



Gambar 2.6 ESP32 DevKit V1

Spesifikasi detail ESP32 DevKit V1 dapat dilihat pada Tabel 2.3.

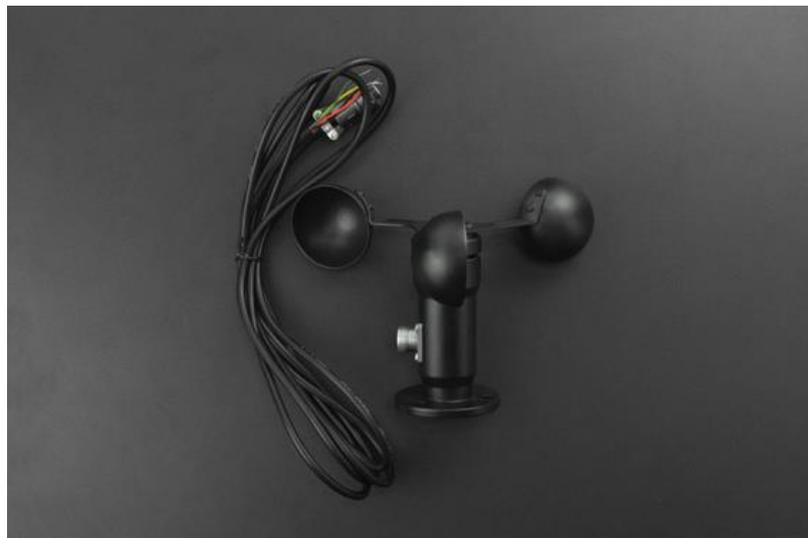
Tabel 2.3 Spesifikasi Mikrokontroler ESP32 DevKit V1

Atribut	Specifications
Microprosesor	Single or Dual-Core 32-bit LX6 Microprocessor with clock frequency up to 240 MHz
Dimension	52 mm x 28 mm x 14 mm
SRAM	520 kB
Antenna	Onboard Antenna
Flash memory	4 MB
Operating Voltage of Power Module	5V
USB Voltage	5V ± 0.3V
Operating Temperature	(-40) - 85 °C
Number of Pins	32 pin
Wi-Fi	Wireless 802,11 b / g / n standard
Bluetooth	Bluetooth v4,2 BR/EDR and Bluetooth

2.9 Sensor Angin

2.9.1 Sensor kecepatan Angin

Sensor kecepatan angin ini adalah instrumen meteorologi profesional yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin horizontal dalam 0~32,4m/s. Ini mengintegrasikan sensor aila di dalamnya. Cangkang dan cangkir angin terbuat dari bahan paduan aluminium dan menggunakan proses *die casting* presisi cetakan khusus, menampilkan toleransi dimensi kecil dan akurasi permukaan yang tinggi. Sirkuit *internal* sensor terlindungi, yang menjadikan sensor memiliki sifat kekuatan tinggi, tahan cuaca, anti korosi, dan tahan air. *Konektor* kabel mengadopsi steker militer tahan korosi yang menjamin masa pakai produk yang lama. Anemometer inersia rendah digunakan untuk mendeteksi kecepatan angin. Ketika angin meniupkan cangkir angin untuk berputar, ia menggerakkan magnet poros untuk berputar melalui poros, kemudian informasi kecepatan angin yang akurat dapat diperoleh setelah perhitungan. Sensor kinerja berbiaya tinggi ini dapat digunakan secara luas di bidang meteorologi, kelautan, lingkungan, bandara, pelabuhan, laboratorium, industri, pertanian, dan transportasi [17].



Gambar 2.7 Sensor kecepatan angin

Spesifikasi detail Sensor Kecepatan Angin dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Spesifikasi Sensor Kecepatan Angin

<i>Atribut</i>	<i>Specifications</i>
<i>Measuring range</i>	0~32,4m/s
<i>Start-up wind speed</i>	0,2-0,4m/s
<i>Accuracy</i>	±0,3m/s
<i>Lead length</i>	2,5m/98,43"
<i>Power voltage</i>	7-24V
<i>Communication protocol</i>	RS485 interface Modbus protocol

2.9.2 Sensor Arah Angin

Sensor arah angin merupakan instrumen meteorologi profesional yang digunakan untuk mengukur arah angin horizontal. Ini mengintegrasikan sensor aila di dalamnya. Cangkang dan baling-baling cuaca terbuat dari bahan paduan aluminium dan menggunakan proses die casting presisi cetakan khusus, menampilkan toleransi dimensi kecil dan akurasi permukaan yang tinggi. Sirkuit *internal* sensor dilindungi, yang menjadikan sensor memiliki sifat kekuatan tinggi, tahan cuaca, anti korosi, dan tahan air. *Konektor* kabel mengadopsi steker militer tahan korosi yang menjamin masa pakai produk yang lama. Baling-baling angin dengan inersia rendah digunakan untuk mendeteksi arah angin. Ketika arah angin berubah, sayap ekor berputar untuk menggerakkan magnet poros berputar melalui poros, sehingga diperoleh informasi arah angin yang akurat. Ia dapat mendeteksi 16 arah angin alami. Sensor dengan kinerja biaya tinggi ini dapat digunakan secara luas di bidang meteorologi, kelautan, lingkungan, bandara, pelabuhan, laboratorium, industri, pertanian, dan transportasi [18].



Gambar 2.8 Sensor Arah Angin

Spesifikasi detail Sensor Arah Angin dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Spesifikasi Sensor Arah Angin

<i>Atribut</i>	<i>Specifications</i>
<i>Measuring range</i>	16 directions & wind direction of 360°
<i>Start-up wind speed</i>	0,3m/s
<i>Lead length</i>	2,5m/8,20"
<i>Power voltage</i>	7-24V
<i>Communication protocol</i>	RS485 interface Modbus protocol

2.10 Sensor BMP388

Sensor tekanan *barometric* BMP388 merupakan sensor yang memiliki fungsi untuk pengukuran suhu dan tekanan udara. Dibandingkan dengan versi sebelumnya BMP180 dan BMP388, BMP388 merupakan sensor yang memiliki konsumsi daya yang rendah, resolusi yang lebih tinggi, dan kecepatan dalam pengambilan data yang lebih tinggi. BMP388 memiliki teknologi sensor tekana resistif *Piezo Bosch* yang menampilkan akurasi tinggi serta konsumsi daya yang rendah dan juga ketahanan EMC yang tinggi. BMP388 memiliki akurasi sekitar $\pm 8\text{Pa}$ yang setara dengan perbedaan ketinggian sekitar $\pm 0.5\text{m}$, dan suhu akurasi mutlak $\pm 0.5^\circ\text{C}$ untuk kisaran suhu antara 0°C sampai dengan 65°C [19]. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan *Gravity BMP388* seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 BMP388

Spesifikasi detail Sensor BMP388 dapat dilihat pada Tabel 2.6.

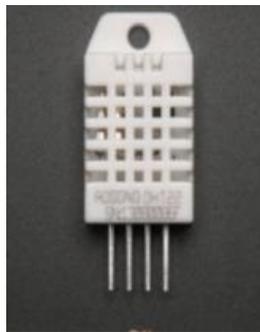
Tabel 2.6 Spesifikasi Sensor BMP388

<i>Atribut</i>	<i>Specifications</i>
<i>Operating Voltage</i>	3,3V-5,5V
<i>Operating Current</i>	0,5mA
<i>Operating Range</i>	300-1250 hPa
<i>Relative Accuracy</i>	± 8 Pa (equivalent to $\pm 0,50\text{m}$ @ 700-900hPa, 25°C-40°C)
<i>Absolute Accuracy</i>	± 50 Pa (0°C-65 @ 300-1100 hPa)
<i>Temperature Coefficient Offset</i>	$\pm 0,75$ Pa/K (-20°C-65 °C @ 700-1100 hPa)
<i>Absolute Accuracy Temperature</i>	$\pm 0,5$ °C (@ 0°C-65 °C)
<i>Operating Temperature</i>	-40°C-80°C (more accurate in 0°C-65 °C)
<i>External Dimension</i>	22mm x 30mm
<i>Mounting Hole Position</i>	15mm
<i>Mounting Hole Dimension</i>	Inside diameter 3mm, outside diameter 6mm
<i>Interface</i>	Gravity-I2C or SPI (SPI is only used at 3,3V)

2.11 Sensor DHT 22

Sensor DHT22 merupakan sensor digital kelembaban dan suhu relatif. Sensor DHT22 menggunakan kapasitor dan termistor untuk mengukur udara disekitarnya dan keluar sinyal pada pin data. DHT22 diklaim memiliki kualitas pembacaan yang baik, dinilai dari respon proses akuisisi data yang cepat dan ukurannya yang minimalis, serta dengan harga relatif murah jika

dibandingkan dengan alat *thermohygrometer*. Sensor DHT22 sangat mudah diaplikasikan pada mikrokontroler tipe Arduino karena memiliki tingkat stabilitas yang dapat dipercaya dan fitur kalibrasi yang memiliki hasil sangat akurat. Salah satu jenis arduino adalah Arduino Uno. Arduino Uno merupakan papan minimum sistem mikrokontroler yang memiliki sifat *open source*. Selain itu arduino memiliki keistimewaan tersendiri dibanding dengan *board* mikrokontroler yang lain, Arduino telah menggunakan bahasa pemrograman yang dibuat menggunakan perangkat lunak [20].



Gambar 2.10 Sensor DHT22

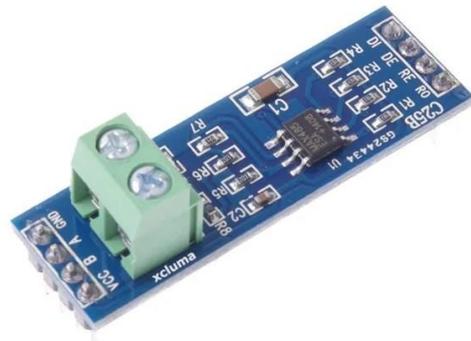
Spesifikasi detail Sensor DHT22 dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Spesifikasi DHT22

<i>Atribut</i>	<i>Specifications</i>
<i>Working voltage</i>	2,7-5,5V DC.
<i>Current consumption</i>	1mA <i>standby</i> 60uA
<i>Detection element:</i>	<i>Polymer capacitor</i>
<i>Humidity measurement range</i>	0-99,9% RH
<i>Accuracy</i>	+/- 0,5 <i>degrees temperature</i> , 3% RH
<i>Resolution</i>	0,1 <i>degrees</i>
<i>Temperature measurement range</i>	-40 to 80 C
<i>Humidity measurement accuracy tolerance</i>	2%RH
<i>Temperature measurement accuracy tolerance</i>	0,5C
<i>Scan time</i>	2 <i>seconds</i>

2.12 Modul XY-485

Modul XY-485 merupakan atau perangkat yang menggunakan protokol komunikasi RS-485. protokol komunikasi serial asinkron yang tidak memerlukan pulsa *clock*. Protokol RS-485 adalah standar komunikasi serial yang biasa digunakan untuk mentransmisikan data antar perangkat elektronik. RS-485 sering digunakan untuk menghubungkan perangkat seperti sensor, kontrol industri, dan perangkat lain yang memerlukan komunikasi yang andal di lingkungan industri atau komersial.



Gambar 2.11 Modul RS-485

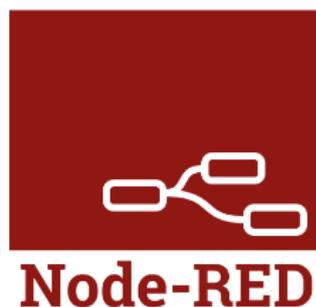
Metode sinyal diferensial bekerja dengan membuat tegangan diferensial dengan menggunakan 5V positif dan negatif. Ini menyediakan komunikasi *Half-Duplex* saat menggunakan dua kabel dan *Full-Duplex* membutuhkan 4 kabel merangkak [20].

2.13 Monitoring

Monitoring merupakan kegiatan pemantauan dan pengawasan suatu sistem, proses, atau aktivitas untuk mendapatkan informasi tentang perkembangan, kinerja, atau statusnya. Tujuan dari *monitoring* adalah untuk memastikan bahwa suatu sistem atau proses berjalan sesuai dengan yang diharapkan atau untuk mendeteksi perubahan atau masalah yang mungkin timbul. *Monitoring* yang dilakukan dalam penelitian ini adalah kondisi cuaca di dalam *greenhouse* dengan teknologi klimatologi mikro.

2.14 *Node Red*

Node-RED merupakan *platform* aliran aliran berbasis visual yang berfungsi sebagai alat penghubung dan otomatisasi antar berbagai perangkat dan layanan. *Platform* ini berjalan di atas *runtime Node.js* dan menyediakan antarmuka web untuk membuat aliran aliran (*flow*) dengan menghubungkan berbagai *node* yang merepresentasikan fungsi atau layanan. *Node-RED* memiliki keunggulan dalam mengembangkan aplikasi berbasis IoT karena kemampuannya untuk menghubungkan berbagai perangkat dan layanan. *Node-RED* mendukung integrasi dengan berbagai layanan pihak ketiga, seperti *platform cloud* dan penyedia layanan web.

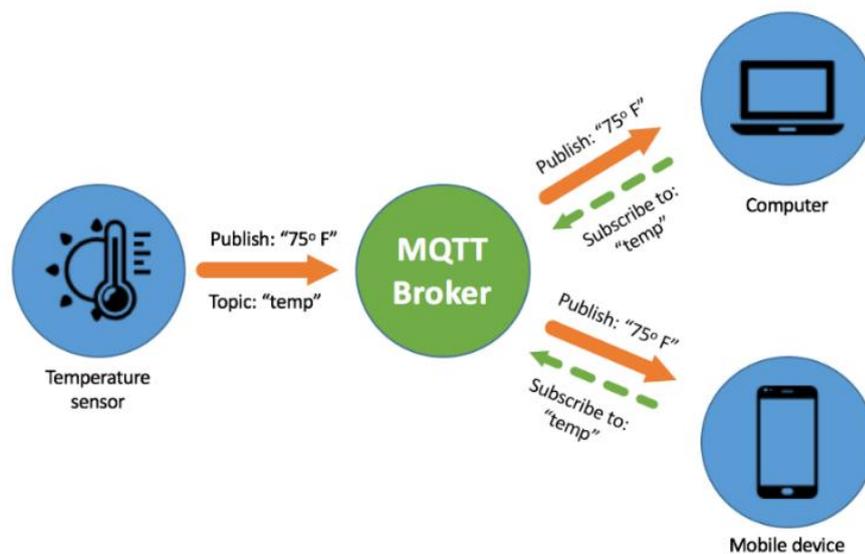


Gambar 2.12 Logo *Node Red*

2.15 MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*)

MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) adalah protokol komunikasi ringan yang dirancang untuk digunakan pada kondisi jaringan yang tidak stabil atau dengan *bandwidth* terbatas. Cara kerja protokol MQTT dengan contoh kasus pada gambar 2.13 dengan melibatkan tiga komponen utama: sensor suhu, broker MQTT, dan perangkat klien seperti komputer dan perangkat seluler. Sensor suhu berfungsi sebagai publisher yang mengirimkan data suhu yang terukur, dalam hal ini "75°F", ke broker MQTT melalui topik yang disebut "*temp*". Broker MQTT berperan sebagai pusat

komunikasi yang mengelola pesan yang diterima dari sensor. Broker ini kemudian mendistribusikan pesan tersebut ke perangkat klien yang berlangganan topik "temp", seperti komputer dan perangkat seluler. Perangkat klien yang berlangganan akan menerima pesan "75°F" yang dikirim oleh broker. Dengan demikian, MQTT memungkinkan komunikasi data yang efisien antara perangkat melalui mekanisme *publish-subscribe*, di mana *publisher* mengirim pesan ke topik tertentu, dan subscriber menerima pesan tersebut jika mereka berlangganan topik yang sama.



Gambar 2.13 *Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)*

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai dari Oktober 2023 – Mei 2024 dengan tempat pelaksanaan dan uji coba penelitian yang dilakukan di berbagai tempat, yaitu Laboratorium Telekomunikasi Terpadu Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Lampung dan Laboratorium Lapangan Terpadu Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

3.2 *Capstone Project*

Pengerjaan penelitian ini berkaitan dengan beberapa penelitian lain yang berkolaborasi untuk membangun sistem *Intelligence Controlling System (ICS)* pada *smart greenhouse*. Dalam pengerjaan proyek ini, peneliti hanya akan berfokus pada perangkat Klimatologi Mikro yang merupakan rangkaian *hardware sensor monitoring*, sementara *sub-project front-end, Back-end*, dan *Mobile App* sebagai *dashboard monitoring* akan dikerjakan dalam penelitian lain.

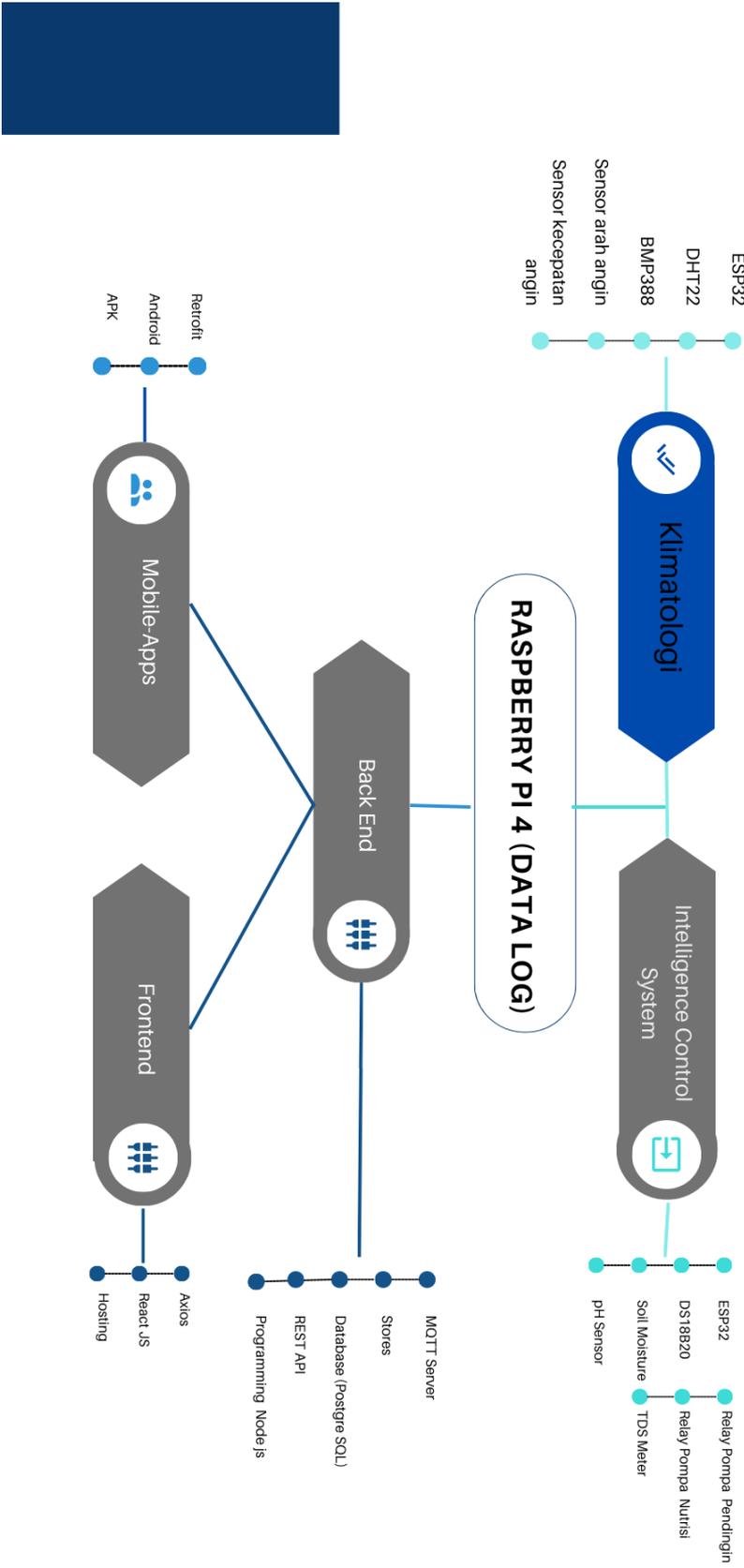
Sistem Klimatologi Mikro di dalam *greenhouse* pada penelitian ini berfungsi sebagai perangkat keras *monitoring* dari *smart greenhouse*, melalui sistem Klimatologi Mikro. Kondisi cuaca di dalam *greenhouse* dapat dimonitoring secara *real-time*. Diagram keseluruhan *project* yang dikerjakan dapat dilihat pada gambar 3.1.



Kampus Merdeka
INDONESIA JAYA



Capstone Project Penelitian



Gambar 3.1 Capstone Project

3.3 Komponen Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

Komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.1 dan tabel 3.2.

Tabel 3.1 Komponen Perangkat Keras

No.	Komponen	Keterangan Penggunaan
1	<i>Raspberry Pi 4 Model B</i>	Mini computer yang digunakan untuk mengirimkan, menerima, menyimpan serta mengolah data
2	<i>ESP32</i>	Sebagai mikrokontroler
3	Sensor Arah angin	Mengukur arah angin
4	Sensor kecepatan angin	Mengukur kecepatan angin
5	Sensor BMP388	Mengukur tekanan udara
6	Sensor DHT 22	Mengukur suhu dan kelembaban udara
7	<i>Router Tenda N300</i>	Penghubung ke layanan internet
8	<i>Buck Boost Converter</i>	Komponen untuk menurunkan tegangan DC
9	Modul xy-485	komponen penghubung ke sensor arah angin dan sensor kecepatan angin
10	<i>Power Supply 24 volt</i>	Sumber daya untuk sensor dan komponen
11	Laptop "Lenovo Ideapad dengan spesifikasi Intel Core I5-6200, AMD RADEON M330, SSD 256 GB, dan RAM 8 GB DDR3"	Perangkat yang digunakan sebagai alat untuk pemrograman Mikrokontroler ESP 32 dan menganalisis data lewat <i>Raspberry Pi 4</i>

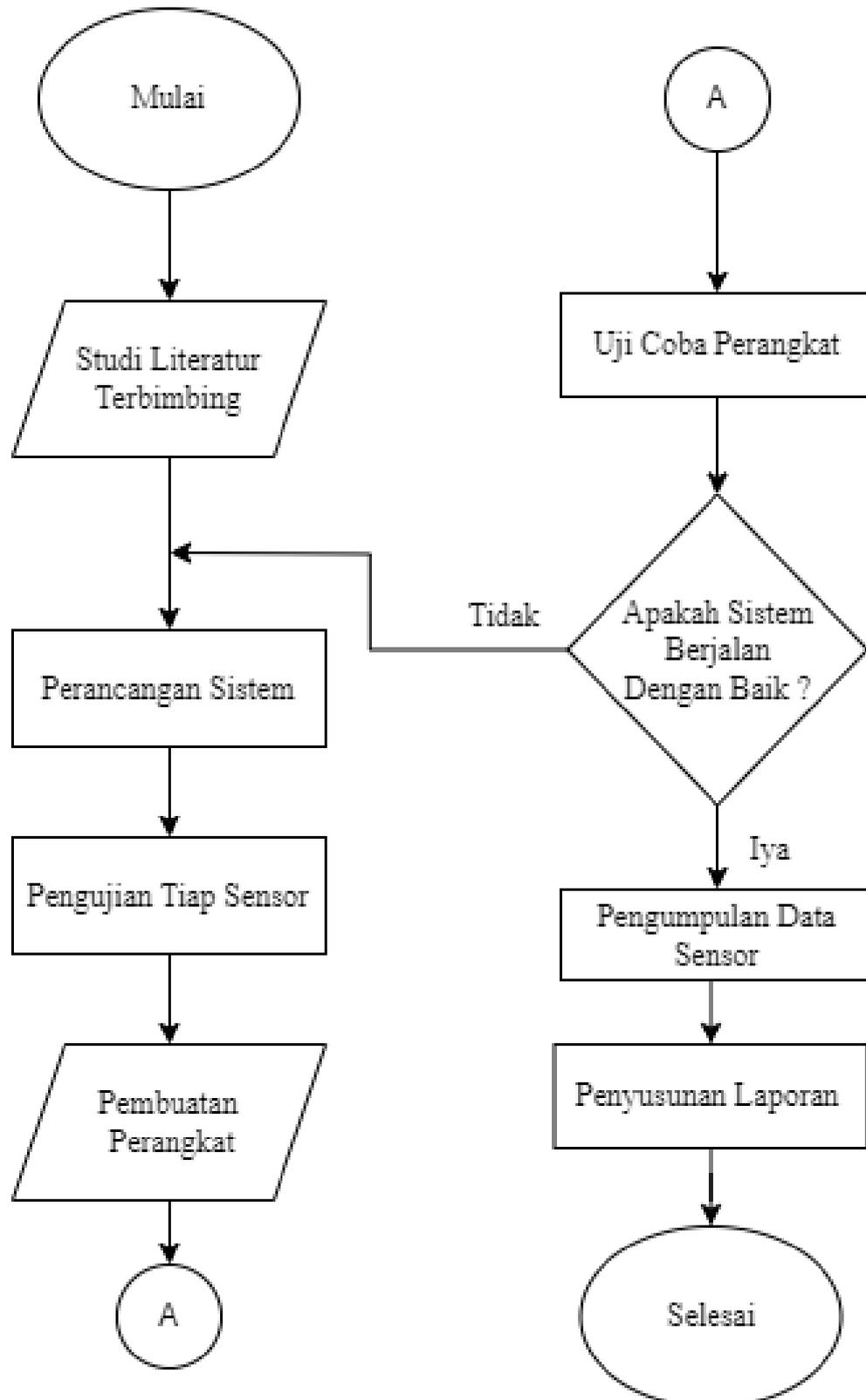
Tabel 3.2 Komponen Perangkat Lunak

No	Perangkat Lunak	Keterangan Penggunaan
1	Arduino IDE	<i>Software text editor</i> untuk membuat program pada ESP32
2	<i>Github</i>	<i>Platform cloud</i> untuk menyimpan hasil program
3	<i>Windows 10 Pro</i>	Sebagai sistem operasi laptop
4	<i>Virtual Network Computing (VNC)</i>	<i>Software</i> pengontrol <i>Raspberry Pi 4 B</i> dari jarak jauh
5	<i>Node Red</i>	<i>tool</i> berbasis browser untuk membuat aplikasi <i>Internet of Things (IoT)</i>

3.4 Diagram Alir Penelitian

Penulis telah merinci serangkaian tahapan secara terperinci untuk membangun perangkat klimatologi mikro yang andal dan efisien, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian. Setiap tahap dalam proses ini merupakan langkah krusial yang dirancang untuk memastikan implementasi sistem *monitoring* klimatologi mikro dapat berjalan dengan optimal. Langkah awal penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur terbimbing secara cermat. Dengan pemahaman mendalam terhadap dasar-dasar teoritis yang melibatkan prinsip-prinsip klimatologi mikro. Selanjutnya, penelitian melibatkan fase perancangan sistem yang terperinci, di mana setiap komponen dan aspek sistem direncanakan secara hati-hati untuk memastikan kecocokan dan kinerja optimal. Progres berlanjut ke tahap pengujian tiap sensor yang akan diintegrasikan ke dalam sistem. Proses berlanjut ke tahap pembuatan perangkat, di mana desain sistem diimplementasikan ke dalam bentuk fisik yang sesungguhnya. Proses ini melibatkan transformasi konsep menjadi suatu perangkat klimatologi mikro yang konkret dan siap digunakan. Uji coba ini dilakukan untuk memverifikasi kinerja keseluruhan sistem dalam kondisi operasional sebenarnya. Jika sistem terbukti berjalan dengan baik dan memberikan hasil yang memuaskan.

Pengumpulan data menjadi langkah penting dalam memahami variabilitas klimatologi mikro dan merinci informasi yang diperlukan untuk analisis lebih lanjut. Langkah terakhir dari rangkaian penelitian ini adalah penyusunan laporan. Laporan ini mencakup seluruh proses penelitian, mulai dari studi literatur hingga hasil pengumpulan data. Selain itu, laporan juga dapat berisi rekomendasi untuk pengembangan masa depan, pembaruan sistem, atau bahkan aplikasi praktis dari temuan penelitian dalam konteks klimatologi mikro. Dengan demikian, proses penelitian ini tidak hanya berfokus pada pembangunan perangkat, tetapi juga memberikan kontribusi pada pemahaman dan pengembangan lebih lanjut dalam bidang klimatologi mikro.



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3.4.1 Studi Literatur Terbimbing

Tahap studi literatur terbimbing merupakan tahap dimana penulis membaca, mengumpulkan, dan mencatat informasi yang dibutuhkan untuk membangun perangkat klimatologi mikro. Dalam tahap studi literatur terbimbing ini, terdapat proses bimbingan dengan dosen pembimbing mengenai permasalahan yang ditemukan selama studi literatur dan juga melakukan riset mengenai komponen yang diperlukan untuk membangun perangkat klimatologi mikro di dalam *greenhouse*.

3.4.2 Rancangan Perangkat dan Sistem

Tahap selanjutnya adalah merancang perangkat dan sistem *monitoring*. Pada tahap rancangan perangkat dan sistem, penulis melakukan beberapa perancangan, yaitu:

- a. Skematik Rangkaian
- b. Perancangan Komunikasi Perangkat

Setelah perancangan telah dibuat maka tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian tiap sensor klimatologi mikro didalam *greenhouse*.

3.4.3 Pengujian Tiap Sensor

Pengujian tiap sensor dilakukan untuk mengetahui apakah setiap sensor bisa melakukan pengambilan data seperti suhu, kelembaban, tekanan udara, kecepatan angin, arah angin dan lainnya. Pengujian sensor dilakukan satu per satu untuk melihat data yang dihasilkan seperti parameter atau nilai hasil pembacaan. Khusus untuk sensor kecepatan angin dan arah angin dibutuhkan 2 modul tambahan yaitu xy-485 sebagai protokol komunikasi RS-485.

3.4.4 Pembangunan Perangkat

Penulis akan merakit perangkat sesuai dengan rancangan yang telah dibuat pada tahap perancangan sistem. Dalam proses pembangunan perangkat Klimatologi Mikro dalam *greenhouse* ada beberapa tahap. Tahap awal yang dilakukan pada pembangunan perangkat dimulai dengan melakukan pengaturan *software*, dimana pada tahap ini penulis melakukan pembangunan program pada mikrokontroler dan *data logger*. Kemudian tahapselanjutnya adalah perakitan perangkat dengan menggabungkan perangkat, menyesuaikan komunikasi dan daya perangkat. Tahap selanjutnya merupakan implementasi perangkat sesuai dengan perancangan.

3.5 Kalibrasi Sensor

Sub-bab ini menjelaskan prosedur kalibrasi yang dilakukan untuk memastikan keakuratan dari data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor yang digunakan dalam penelitian. Proses kalibrasi ini penting untuk validasi data penelitian dan untuk menjamin bahwa data yang digunakan dalam analisis adalah akurat.

3.5.1 Kalibrasi Sensor Suhu dan Kelembaban (DHT22)

Prosedur kalibrasi sensor DHT22 melibatkan penggunaan *Digital Thermo-Hygro* sebagai alat referensi untuk menyesuaikan dan memverifikasi pembacaan suhu dan kelembaban. Sensor diaktifkan dan dioperasikan bersamaan dengan *Digital Thermo-Hygro* di lingkungan yang dikontrol. Perbandingan dilakukan antara pembacaan sensor DHT22 dan pembacaan dari *Digital Thermo-Hygro*. Penyesuaian dilakukan pada sensor jika terdapat penyimpangan dari nilai referensi untuk memastikan keakuratan pembacaan suhu dan kelembaban yang konsisten dan dapat diandalkan.

3.5.2 Kalibrasi Sensor Tekanan (BMP388)

Kalibrasi sensor BMP388 untuk tekanan juga menggunakan *Digital Thermo-Hygro* sebagai referensi untuk suhu sekaligus tekanan di lingkungan yang dikontrol. Sensor BMP388 diuji bersamaan dengan *Digital Thermo-Hygro*. Pembacaan tekanan dari BMP388 dibandingkan dengan nilai yang diberikan oleh alat referensi. Kalibrasi dilakukan dengan menyesuaikan sensor untuk mengeliminasi penyimpangan dalam pembacaan tekanan, memastikan keakuratan dan keandalan data.

3.5.3 Kalibrasi Sensor Kecepatan Angin

Kalibrasi sensor kecepatan angin dilakukan menggunakan anemometer digital sebagai standar referensi. Sensor kecepatan angin dan anemometer ditempatkan dalam kondisi lingkungan yang serupa di dalam *greenhouse*. Kipas angin digunakan untuk menciptakan aliran angin yang konsisten, dan pembacaan dari sensor kecepatan angin dibandingkan dengan pembacaan dari anemometer. Kalibrasi dilakukan untuk memastikan bahwa pembacaan sensor akurat dan mencerminkan kondisi nyata kecepatan angin di dalam *greenhouse*.

3.5.4 Kalibrasi Sensor Arah Angin

Kalibrasi sensor arah angin menggunakan kompas sebagai alat referensi. Sensor ditempatkan di lokasi yang stabil dan diarahkan bersamaan dengan kompas untuk mendapatkan orientasi yang benar. Sensor diuji dengan memutar 360 derajat dan pembacaan arah angin yang dihasilkan dibandingkan dengan arah yang ditunjukkan oleh kompas. Kalibrasi ini memastikan bahwa sensor arah angin memberikan pembacaan yang presisi dan akurat.

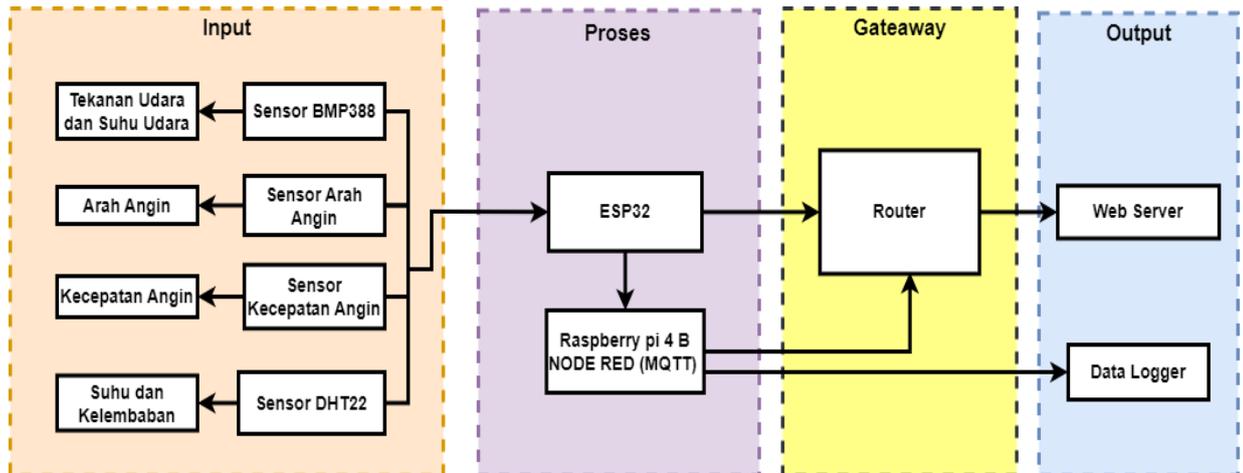
Melalui proses kalibrasi yang sistematis ini, keakuratan data dari sensor-sensor yang digunakan dalam penelitian ini dapat dipertahankan. Ini sangat penting untuk memastikan bahwa data yang diperoleh mencerminkan kondisi

sebenarnya dari lingkungan mikro di dalam *greenhouse*, yang mendukung penelitian dan pengambilan keputusan dalam pengelolaan kondisi lingkungan yang optimal untuk pertumbuhan tanaman.

3.6 Skema Sistem Klimatologi Mikro

Skema sistem *monitoring* cuaca pada perangkat klimatologi mikro dalam *greenhouse*, *Raspberry Pi* akan memberikan perintah pada ESP32 untuk mendeteksi kondisi cuaca di dalam *greenhouse*. Setelah mendapat perintah dari *Raspberry Pi*, ESP32 akan melakukan perintah ke setiap sensor untuk mendeteksi kondisi cuaca di dalam *greenhouse*. Pada saat perangkat sedang dalam proses pendeteksian, ESP32 akan memerintah setiap sensor untuk melakukan pendeteksian dan mengirimkan data dari tiap sensor setiap 1 menit. Setiap sensor yang ada pada klimatologi mikro memiliki fungsi yang berbeda-beda, sensor arah angin akan mendeteksi arah angin, sensor kecepatan angin akan mendeteksi kecepatan angin (m/s), BMP388 akan mendeteksi tekanan udara (hPa) dan suhu udara di dalam *greenhouse*, DHT22 akan mendeteksi suhu dan kelembaban udara.

Kemudian data setiap sensor yang didapatkan setiap 1 menit oleh ESP32 akan dikirim dan dikumpulkan ke *Raspberry Pi* 4. Selain memberikan perintah pada ESP32 untuk melakukan pendeteksian cuaca, *Raspberry Pi* 4 juga berfungsi sebagai *data logger* dan data tersebut akan diolah melalui *node-red* dengan protokol MQTT kemudian dikirim ke *Web Server* untuk ditampilkan sehingga *user* dapat melihat data yang didapatkan oleh sensor secara *real-time*. ESP32 dan *Raspberry Pi* 4 terhubung dengan jaringan internet melalui router yang ada di Laboratorium Lapang Terpadu Fakultas Pertanian. *Power supply* dari perangkat Klimatologi Mikro dan *data logger* berasal dari listrik AC PLN yang diubah ke DC menggunakan *adaptor*.



Gambar 3.3 Skema Sistem Klimatologi Mikro

3.7 Perancangan Komunikasi Perangkat

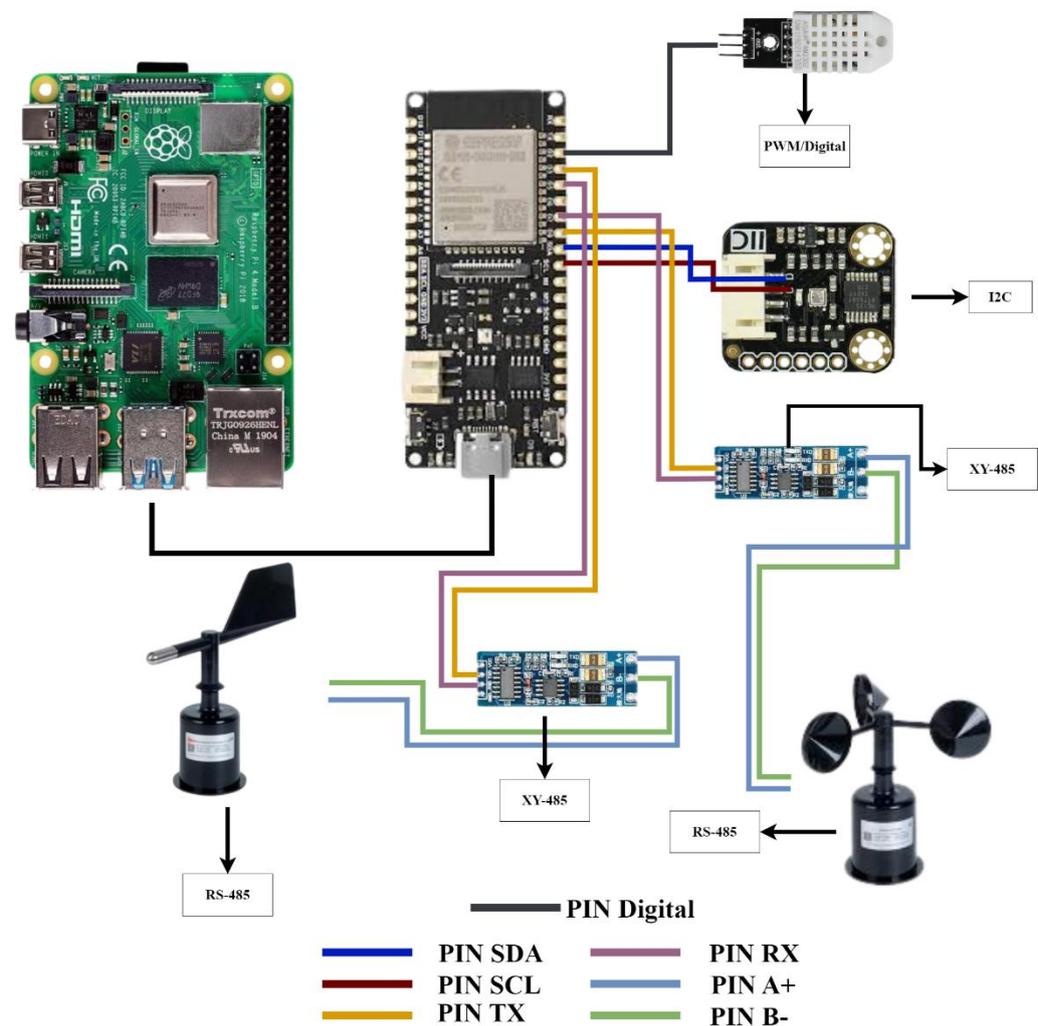
Perangkat klimatologi mikro mengumpulkan data dari berbagai sensor menjadi suatu aspek krusial dalam mendapatkan pemahaman yang komprehensif mengenai kondisi lingkungan. Masing-masing sensor yang digunakan dalam perangkat ini memiliki karakteristik dan fungsi yang unik, termasuk dalam hal sistem komunikasinya. Informasi terkait sistem komunikasi dari setiap sensor dapat ditemukan secara rinci dalam Tabel 3.3, yang menyajikan pandangan menyeluruh terkait teknologi komunikasi yang digunakan oleh masing-masing sensor.

Tabel 3.3 Sistem Komunikasi Sensor

No.	Nama Sensor	Komunikasi	Keterangan Penggunaan
1.	Sensor kecepatan angin	RS-485	Mengukur kecepatan udara
2.	Sensor arah angin	RS-485	Mengukur arah angin
3.	Gravity BMP388	I2C	Mengukur suhu dan tekanan udara
4.	DHT22	PWM/Digital	Mengukur suhu dan kelembaban

Setelah memahami rinci sistem komunikasi pada sensor-sensor yang terpasang, langkah berikutnya adalah merancang skema sistem komunikasi

sensor yang efisien dan terintegrasi pada perangkat klimatologi mikro. Rancangan ini dapat dilihat dalam gambar 3.4.



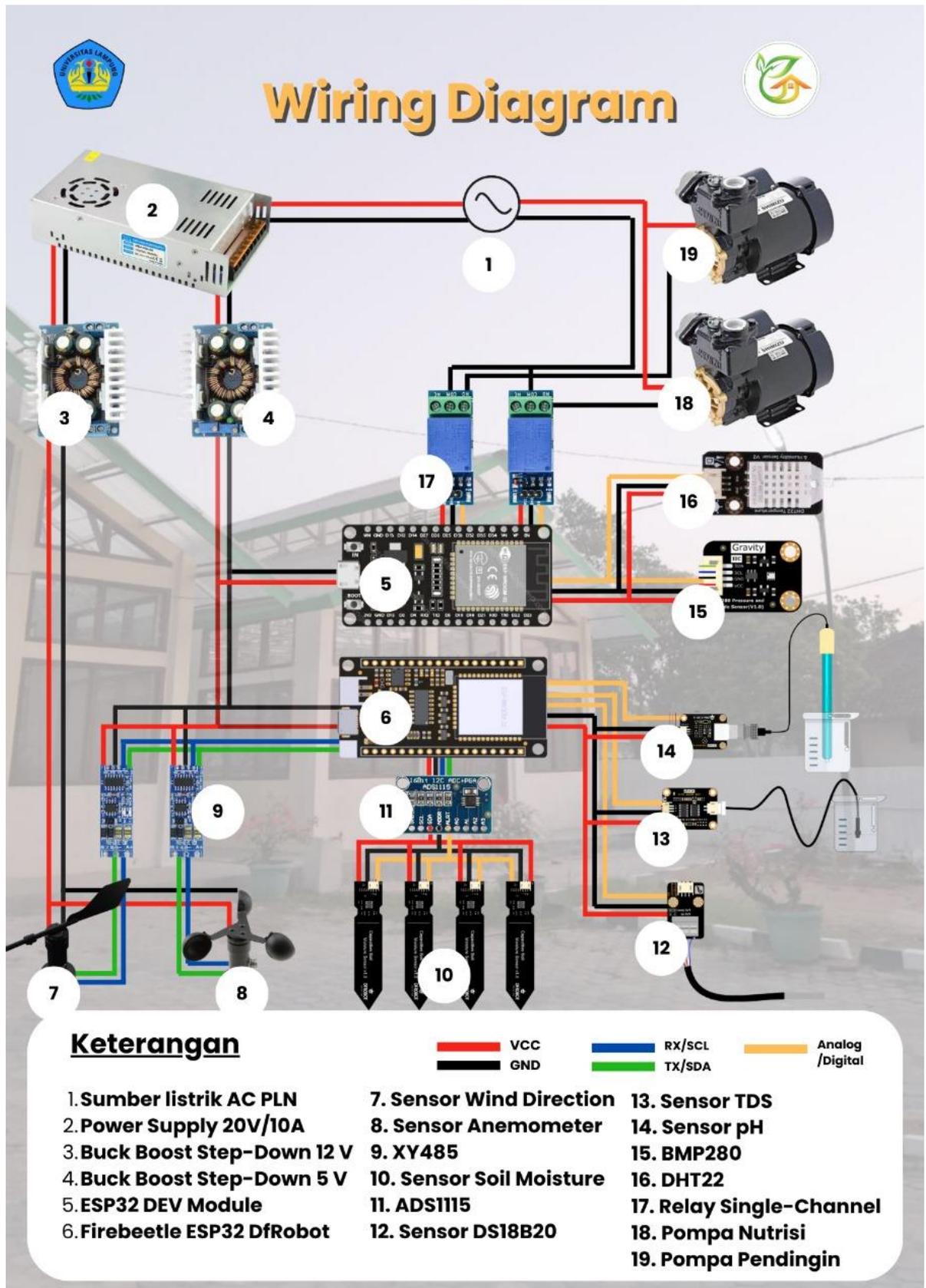
Gambar 3.4 Skema Sistem Komunikasi Sensor Klimatologi Mikro

3.8 Perancangan *Wiring Diagram* Perangkat Klimatologi Mikro

Perancangan *wiring diagram* merupakan langkah awal yang penting dalam pengembangan perangkat Klimatologi Mikro. *Wiring diagram* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.5 adalah representasi visual dari komponen-komponen dan sambungan-sambungan elektrik dalam sistem. Diagram ini berfungsi sebagai peta bagi teknisi dan insinyur untuk memahami bagaimana setiap elemen dalam sistem dihubungkan satu sama lain, memastikan integrasi yang tepat dan berfungsi optimal.

Dalam perancangan *wiring diagram*, setiap komponen seperti sensor, mikrokontroler, modul komunikasi, catu daya, dan komponen tambahan lainnya ditampilkan dengan simbol yang sesuai. Sensor-sensor yang digunakan untuk mengukur parameter klimatologi seperti suhu, kelembaban, kecepatan angin, dan arah angin, semuanya ditampilkan dalam diagram ini, lengkap dengan koneksi ke mikrokontroler yang memproses data yang dikumpulkan. Mikrokontroler berfungsi sebagai pusat kendali yang menerima data dari sensor, memproses informasi tersebut, dan kemudian mengirimkannya ke modul komunikasi untuk ditransmisikan ke *server* atau *platform IoT*.

Berdasarkan gambar 3.5 merupakan skema rangkaian *wiring* dari perangkat sistem *monitoring* klimatologi mikro untuk *greenhouse*, dilengkapi dengan berbagai komponen elektronik dan sensor yang saling terintegrasi untuk memastikan optimalisasi kondisi lingkungan bagi pertumbuhan tanaman. Dimulai dari sumber daya utama, sistem ini ditenagai oleh listrik AC dari PLN (poin 1), yang merupakan pasokan daya utama untuk semua komponen dalam sistem. Daya ini kemudian diatur oleh *power supply* 24V/10A (poin 2) yang mengonversi listrik AC menjadi tegangan DC stabil untuk memenuhi kebutuhan operasional sistem. Untuk menyesuaikan dengan kebutuhan spesifik perangkat lain yang memerlukan tegangan yang lebih rendah, digunakan *buck boost step-down converters* yang menghasilkan keluaran 12V (poin 3) dan 5V (poin 4).



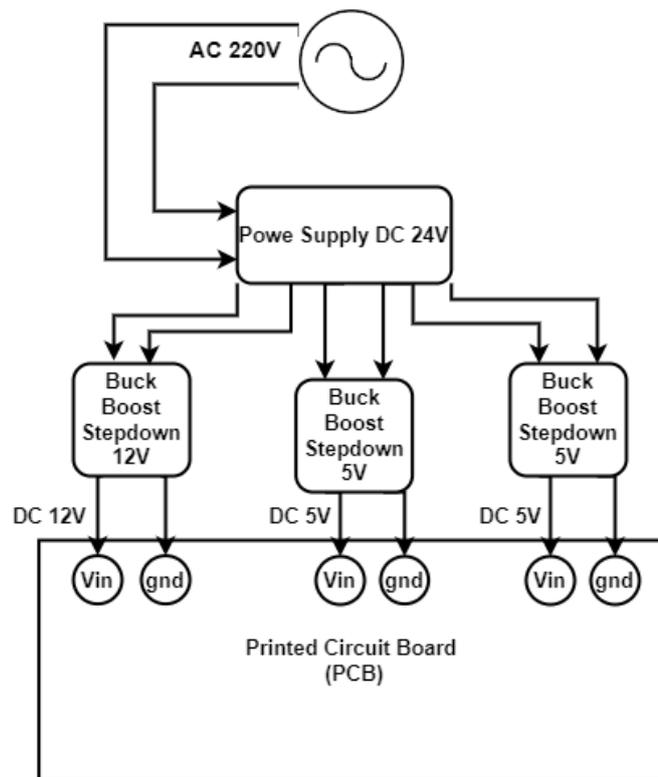
Gambar 3.5 Wiring Diagram Perangkat Klimatologi Mikro

Kerja sistem ini dikendalikan oleh ESP32 DEV Modul (poin 5), sebuah mikrokontroler dengan konektivitas *WiFi* dan *Bluetooth* yang bertindak sebagai pusat pengolahan data dan pengendalian operasional. Mikrokontroler ini mengelola *input* dan *output* dari berbagai sensor seperti sensor arah angin (poin 7) yang menangkap arah angin untuk membantu penyesuaian mekanis elemen bangunan seperti jendela, dan anemometer (poin 8) yang mengukur kecepatan angin untuk menginformasikan kebutuhan ventilasi udara. Komunikasi antar perangkat dalam sistem ini difasilitasi oleh modul XY485 (poin 9), yang memungkinkan data dikomunikasikan secara efisien melalui jaringan dengan menggunakan protokol RS-485, menjamin integritas data meskipun di lingkungan yang luas dan berisik.

Pada bagian *monitoring* lingkungan, BMP388 (poin 15) digunakan untuk mengukur tekanan atmosfer dan suhu di dalam *greenhouse*, memberikan data yang penting untuk mengendalikan kualitas udara dan kondisi termal. Sementara itu, DHT22 (poin 16) mendeteksi kelembaban dan suhu udara, kedua parameter vital dalam menentukan frekuensi dan durasi pengairan, serta pengaturan suhu ruangan. Keseluruhan sistem ini dirancang untuk bekerja secara otomatis, memanfaatkan teknologi canggih untuk memastikan bahwa semua variabel lingkungan di dalam *greenhouse* dapat diatur dengan tepat, memaksimalkan efisiensi energi sambil mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal.

3.9 Perancangan Catu Daya Perangkat Klimatologi Mikro

Perancangan catu daya adalah langkah penting untuk memastikan semua komponen perangkat mendapatkan tegangan dan arus yang diperlukan. Perancangan catu daya perangkat klimatologi mikro dapat dilihat pada gambar 3.6.

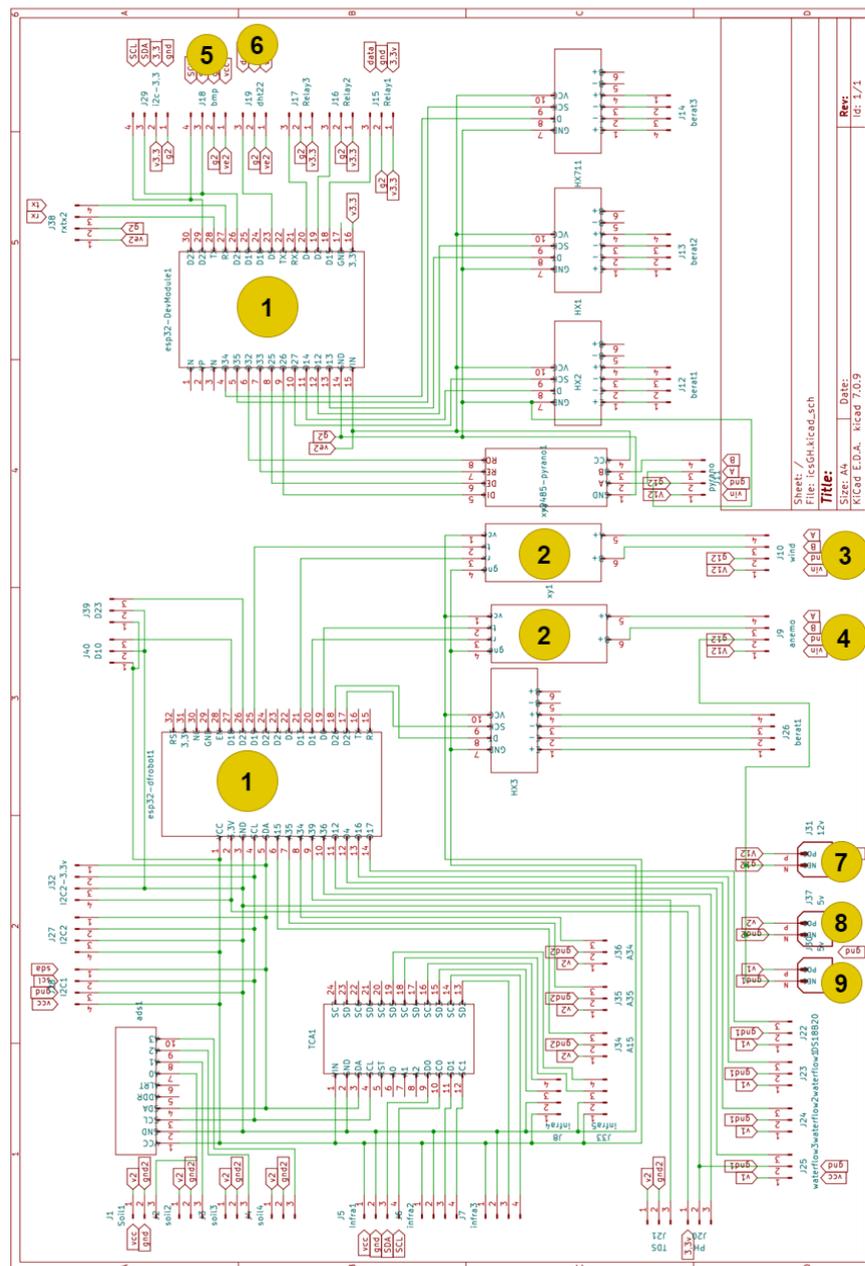


Gambar 3.6 Schematic Diagram Catu Daya

Perancangan catu daya merupakan langkah penting untuk memastikan semua komponen perangkat *monitoring* klimatologi mikro mendapatkan tegangan dan arus yang diperlukan. Catu daya harus mampu memberikan tegangan stabil dan cukup untuk mendukung operasi semua komponen elektronik dalam sistem. Dalam perancangan ini, digunakan modul catu daya yang dapat mengkonversi tegangan dari sumber utama ke tegangan yang dibutuhkan oleh komponen seperti ESP32 dan sensor-sensor. Regulator tegangan digunakan untuk memastikan tegangan tetap stabil meskipun terjadi fluktuasi pada sumber daya.

3.10 Perancangan *Schematic* Diagram PCB Perangkat Klimatologi Mikro

Langkah pertama yang tidak dapat dipisahkan dari proses ini adalah pembuatan *Schematic* diagram. Pembuatan *Schematic* diagram seperti pada Gambar 3.7 merupakan upaya untuk menggambarkan secara rinci struktur dan hubungan antar komponen dalam sistem.



Gambar 3.7 *Schematic* Diagram PCB Klimatologi Mikro

Berdasarkan Gambar 3.7 skema rangkaian elektronik ini dirancang untuk sistem *monitoring* iklim mikro dalam *greenhouse* yang menggunakan mikrokontroler ESP32 bersama beberapa modul komunikasi dan sensor. Dalam skema ini, ESP32 (poin 1) berfungsi sebagai pusat pengendalian, mengelola pengolahan data dan komunikasi dari berbagai sensor serta mengatur *output* ke perangkat eksekusi. Mikrokontroler ini terhubung dengan modul XY-485 (poin 2), yang memanfaatkan protokol RS-485 untuk memastikan transmisi data yang efisien dan andal antar perangkat dalam sistem, sangat berguna terutama dalam kondisi yang memerlukan komunikasi jarak jauh atau di lingkungan dengan gangguan elektromagnetik yang intens. Sistem ini dilengkapi dengan sensor arah angin dan kecepatan angin, yang masing-masing terhubung ke pin yang ditunjukkan di poin 3 dan poin 4.

Sensor arah angin membantu dalam memantau dan mengadaptasi kontrol mekanis seperti orientasi ventilasi sesuai arah angin, sedangkan sensor kecepatan angin digunakan untuk menyesuaikan kecepatan kipas atau otomatisasi pembukaan jendela berdasarkan kecepatan angin yang terukur. Sensor BMP388 (poin 5), yang mengukur tekanan barometrik dan suhu, terhubung langsung ke sistem untuk memberikan data penting yang berkontribusi pada *monitoring* cuaca lingkungan dalam *greenhouse*. Sensor DHT22 (poin 6) juga terintegrasi untuk mengukur kelembaban dan suhu, memberikan informasi penting untuk mengontrol sistem pemanasan, ventilasi, dan pengkondisian udara untuk mempertahankan kondisi iklim mikro yang ideal.

Dalam hal manajemen daya, skema ini menggambarkan pin yang menyediakan 12V (poin 7) dan dua set pin yang menyediakan 5V (poin 8 dan 9). Tegangan 12V dialokasikan untuk sensor *wind direction* dan *wind speed*, sedangkan tegangan 5V dimanfaatkan untuk sensor DHT22 dan BMP388. Distribusi daya yang efisien sangat krusial untuk menjaga operasional sistem

yang stabil dan efektif. Secara keseluruhan, skema ini mendeskripsikan sebuah sistem yang terintegrasi dan kompleks, menggunakan teknologi canggih untuk memastikan *monitoring* cuaca lingkungan yang akurat dan adaptif, sesuai dengan kebutuhan spesifik dari penggunaan akhir di dalam aplikasi *greenhouse* atau pengaturan kontrol iklim serupa.

Koneksi Antar *Pin* dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Pin *IN-OUT* Komponen Perangkat Klimatologi Mikro

Modul Out	Koneksi Pin	Modul In
BMP388	I2C Pin	ESP32 DEV Module
DHT22	GPIO 5 (Digital)	ESP32 DEV Module
Wind Direction	14, 0 (Rx-Tx)	ESP32 DEV Module
Wind Speed	13, 19 (Rx-Tx)	ESP32 DEV Module

Desain papan sirkuit yang akan di desain menggunakan ukuran 182.88 mm x 129.54 mm, telah dikembangkan khusus untuk memfasilitasi proses manufaktur perangkat klimatologi mikro. Ukuran ini dipilih untuk meningkatkan efisiensi dalam perakitan serta kemudahan dalam penanganan. Papan ini masih berada dalam tahap prototipe, dengan desain yang mengutamakan kemudahan dalam memasang komponen secara *plug and play*, yang bertujuan untuk mempercepat montase perangkat. Papan sirkuit ini dibuat dari material FR-4, yang dikenal akan durabilitas dan resistansinya terhadap api. FR-4, sebuah bahan laminasi epoxy yang diperkuat dengan *fiberglass*, adalah pilihan populer untuk aplikasi elektronik karena stabilitas dan kekuatannya yang tinggi, sangat sesuai untuk penggunaan dalam kondisi yang sering berubah seperti fluktuasi suhu dan kelembaban. Fokus pada desain *plug and play* untuk pemasangan komponen menambah efisiensi dan kepraktisan dalam lini produksi. Fitur ini memungkinkan montase yang cepat dan mudah, meminimalkan potensi kesalahan pemasangan dan meningkatkan kecepatan produksi keseluruhan.

Spesifikasi detail papan sirkuit yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Spesifikasi PCB Klimatologi Mikro

Parameter	Spesifikasi
Panjang	182,88 mm
Lebar	129,54 mm
<i>Layer</i>	2 Layer
<i>Grid</i>	2,54 mm
<i>Hole Diameter</i>	0,95 mm
<i>Wire Daya</i>	0,8 mm
<i>Wire Data</i>	0,3 mm

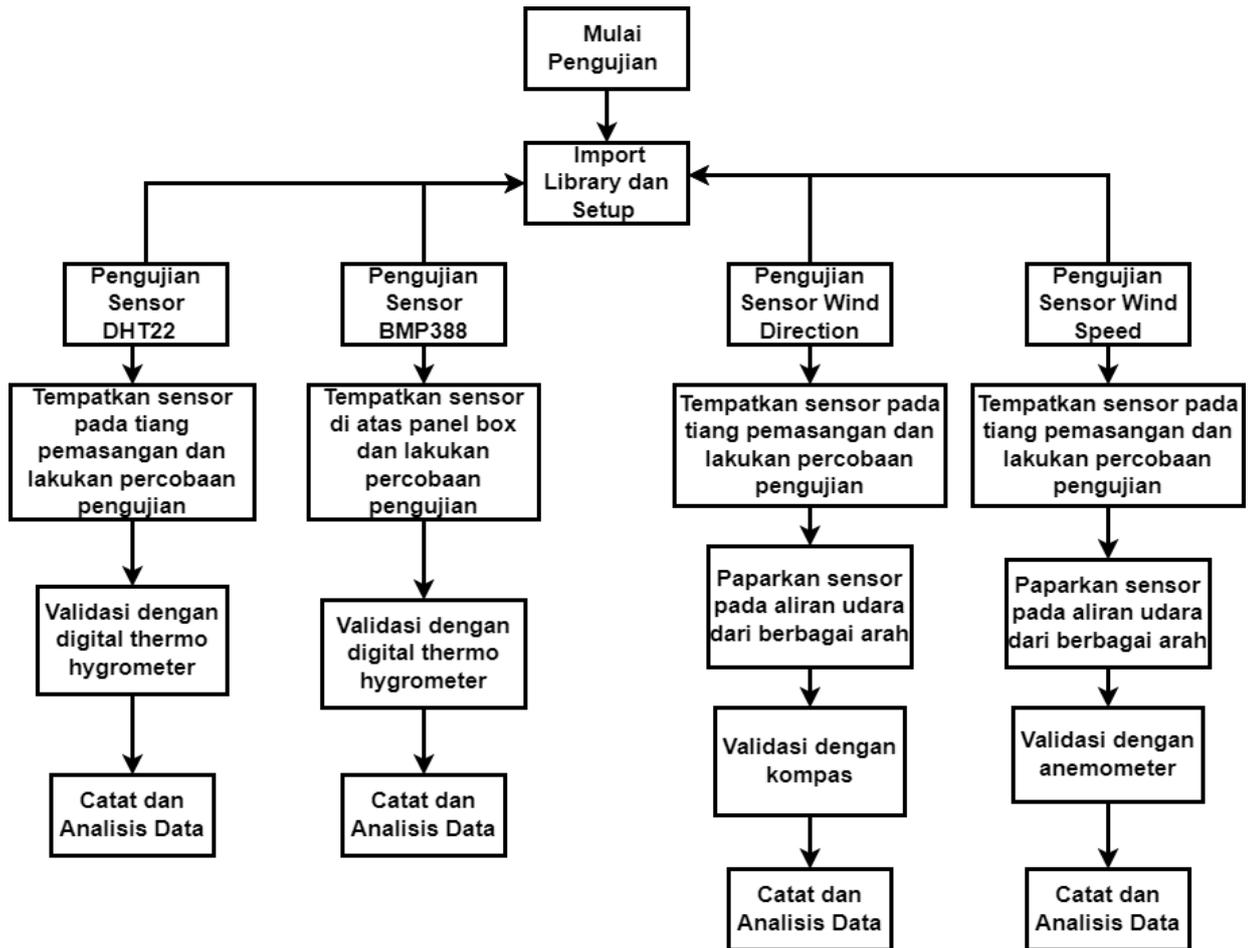
3.11 Diagram Blok Pengujian Sensor

Diagram blok pengujian sensor yang ditunjukkan dalam gambar dimulai dengan langkah awal "Mulai Pengujian". Setelah memulai pengujian, langkah selanjutnya adalah mengimpor *library* yang diperlukan dan melakukan setup untuk memastikan semua komponen perangkat lunak yang diperlukan telah terpasang dan berfungsi dengan baik. Ini mencakup pengaturan dasar untuk semua sensor yang akan diuji. Pengujian pertama yang dilakukan adalah untuk sensor DHT22. Sensor ini ditempatkan pada tiang pemasangan, kemudian dilakukan berbagai percobaan untuk memverifikasi fungsinya. Setelah percobaan dilakukan, hasil dari sensor DHT22 divalidasi menggunakan *Digital Thermo Hygrometer* untuk memastikan akurasi pembacaan suhu dan kelembaban.

Data yang diperoleh dari pengujian ini kemudian dicatat dan dianalisis untuk mendapatkan gambaran lengkap mengenai kinerja sensor. Selanjutnya, pengujian dilakukan pada sensor BMP388. Sensor ini ditempatkan di atas *panel box* dan dilakukan serangkaian percobaan untuk memastikan akurasi pengukuran tekanan barometrik. Validasi hasil pengukuran dilakukan menggunakan *Digital Thermo Hygrometer*, yang berfungsi sebagai pembanding standar. Hasil pengujian ini juga dicatat dan dianalisis untuk

mengevaluasi kinerja sensor BMP388. Pengujian berikutnya adalah untuk sensor arah angin (*Wind Direction*). Sensor ini ditempatkan pada tiang pemasangan dan dilakukan percobaan dengan memaparkan sensor pada aliran udara dari berbagai arah yang telah ditentukan. Validasi hasil pengukuran dilakukan menggunakan kompas untuk memastikan sensor mampu mendeteksi arah angin dengan akurat. Data dari pengujian ini kemudian dicatat dan dianalisis.

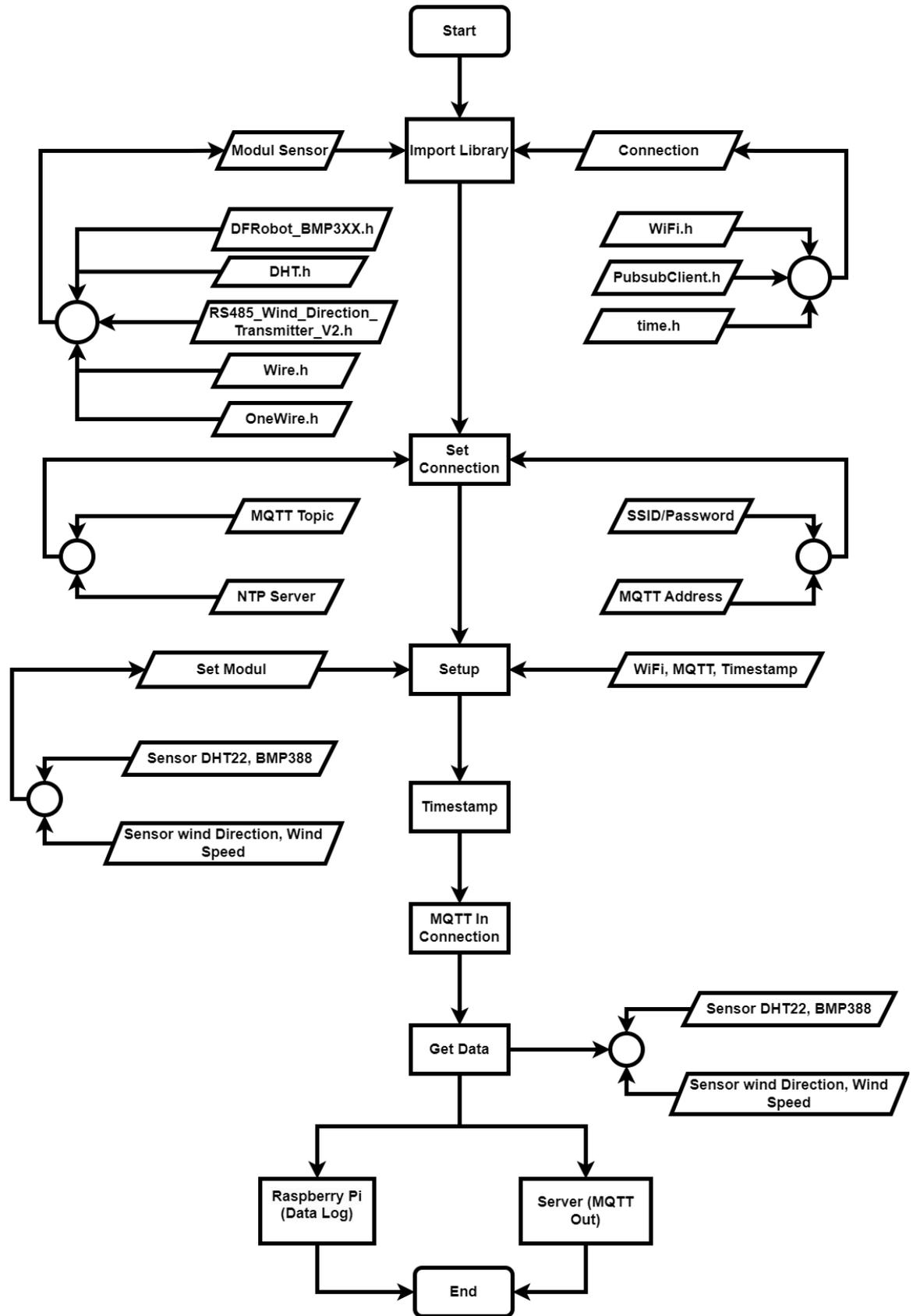
Pengujian terakhir adalah untuk sensor kecepatan angin (*Wind Speed*). Sensor ini juga ditempatkan pada tiang pemasangan dan diuji dengan memaparkannya pada aliran udara dengan kecepatan yang bervariasi. Validasi dilakukan menggunakan anemometer, alat yang telah terkalibrasi untuk mengukur kecepatan angin dengan akurat. Hasil dari pengujian ini dicatat dan dianalisis untuk memastikan sensor dapat mengukur kecepatan angin dengan tepat. Keseluruhan proses pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap sensor beroperasi dengan benar dan menghasilkan data yang akurat. Data yang dikumpulkan dari setiap pengujian dianalisis untuk menilai kinerja sensor dalam berbagai kondisi operasional. Analisis ini sangat penting untuk memastikan keandalan sensor dalam aplikasi nyata, seperti dalam studi klimatologi mikro pada *smart greenhouse*.



Gambar 3.8 Diagram Blok Pengujian Sensor

3.12 Diagram Alir Program Sistem *Monitoring* Klimatologi Mikro

Diagram alir atau *flowchart* pengujian yang ditunjukkan dalam gambar 3.9 menggambarkan proses pengujian fungsionalitas sensor dalam sistem *monitoring* klimatologi mikro berbasis *Internet of Things* (IoT).



Gambar 3.9 Diagram Alir Program Sistem *Monitoring* Klimatologi Mikro

Proses pengujian dimulai dengan langkah "*Start*" yang dilanjutkan dengan mengimpor *library* yang diperlukan. Langkah ini mencakup modul sensor seperti *DFRobot_BMP3XX.h* untuk sensor tekanan BMP388, *DHT.h* untuk sensor DHT22, *RS485_Wind_Direction_Transmitter_V2.h* untuk sensor arah angin, *Wire.h*, dan *OneWire.h*. Selain itu, *library* untuk koneksi seperti *WiFi.h*, *PubSubClient.h*, dan *time.h* juga diimpor untuk memastikan sistem dapat terhubung dengan jaringan dan waktu yang tepat.

Langkah berikutnya adalah mengatur koneksi guna mencakup konfigurasi SSID, *password WiFi*, alamat MQTT, dan pengaturan *server NTP* untuk sinkronisasi waktu. Proses ini memastikan bahwa semua komponen perangkat keras dan perangkat lunak terhubung dengan benar dan siap untuk digunakan. Setelah koneksi diatur, sistem melanjutkan ke langkah *setup*, di mana modul sensor diinisialisasi. Ini mencakup pengaturan sensor DHT22 dan BMP388, serta sensor arah angin dan kecepatan angin. Pada tahap ini, sistem juga mengkonfigurasi topik MQTT dan *server NTP*.

Langkah selanjutnya adalah mengatur *timestamp* yang digunakan untuk mencatat waktu pengambilan data dari sensor. Setelah itu, sistem memastikan bahwa koneksi MQTT sudah terhubung dengan benar sebelum melanjutkan ke tahap pengambilan data. Pada tahap ini, data dari sensor DHT22, BMP388, arah angin, dan kecepatan angin dikumpulkan dan diproses. Data yang diperoleh kemudian dikirimkan ke dua tujuan utama: *Raspberry Pi* untuk pencatatan data (*data log*) dan *server MQTT* untuk transmisi data *real-time*. Proses pengambilan data melibatkan pengumpulan informasi dari semua sensor yang terhubung dan memastikan bahwa data tersebut valid dan akurat. Data dari sensor suhu dan kelembaban DHT22, sensor tekanan BMP388, serta sensor arah dan kecepatan angin dikirim ke *Raspberry Pi* untuk penyimpanan dan analisis lebih lanjut. Pada saat yang sama, data juga dikirim ke *server MQTT* untuk memungkinkan pemantauan *real-time* dari lokasi yang jauh.

Flowchart ini mengakhiri proses pengujian dengan memastikan bahwa semua data telah dikumpulkan dan dikirim dengan benar. Proses ini membantu dalam memverifikasi bahwa setiap sensor beroperasi sesuai dengan yang diharapkan dan memberikan data yang akurat untuk pengendalian iklim mikro dalam *greenhouse*. Dengan mengikuti langkah-langkah yang terstruktur dalam *flowchart* ini, proses pengujian menjadi lebih efisien dan sistematis, memastikan keandalan dan performa optimal dari sistem *monitoring* klimatologi mikro.

3.13 Indikator Keberhasilan Perancangan Alat

Perangkat klimatologi mikro yang telah dirancang memiliki beberapa indikator keberhasilan untuk menilai performanya. Berikut adalah beberapa indikator keberhasilan untuk masing-masing sensor yang dapat dijadikan acuan:

1. Akurasi Pengukuran Sensor Kecepatan Angin

Indikator ini mencakup tingkat akurasi sensor kecepatan angin yang terpasang pada perangkat. Pengukuran kecepatan angin harus sesuai dengan standar m/s dan memiliki tingkat ketelitian yang tinggi. Dalam hal ini alat yang digunakan adalah *wind speed meter*.

2. Presisi Pengukuran Sensor Arah Angin

Keberhasilan perangkat dapat diukur dari sejauh mana sensor arah angin dapat memberikan hasil yang tepat dan akurat. Presisi pengukuran arah angin perlu diperiksa dengan membandingkan data yang dihasilkan dengan nilai sebenarnya, dalam hal ini adalah alat ukur arah angin yaitu kompas.

3. Konsistensi Pengukuran Sensor BMP388

Sensor BMP388 harus memberikan pembacaan yang konsisten dan stabil seiring waktu. Indikator ini mencakup kemampuan sensor untuk mempertahankan ketelitian pengukuran tekanan atmosfer secara

berkelanjutan, dalam hal ini alat yang digunakan untuk mengukur akurasi sensor BMP388 adalah *Digital Thermo Hygro*.

4. Reabilitas Sensor DHT22

Keberhasilan perangkat juga bergantung pada reabilitas sensor DHT22 dalam memberikan data suhu dan kelembaban. Indikator ini mencakup konsistensi dan akurasi pembacaan sensor selama penggunaan jangka panjang, dalam hal ini alat yang digunakan untuk mengukur akurasi sensor DHT22 adalah *Digital Thermo Hygro*.

Setelah seluruh sensor berhasil disatukan menjadi satu sistem, penting untuk mengevaluasi sejauh mana integrasi tersebut berhasil dan memberikan manfaat secara keseluruhan. Berikut adalah beberapa indikator keberhasilan dari sistem alat yang dapat digunakan:

1. Keselarasan data antar sensor

Sistem memastikan keselarasan data antar sensor, di mana informasi yang dihasilkan oleh masing-masing sensor memiliki konsistensi yang tinggi, menciptakan gambaran yang menyeluruh tentang kondisi cuaca di dalam *greenhouse*. Sinkronisasi waktu yang baik memastikan data yang direkam oleh setiap sensor diatur secara seragam, memungkinkan interpretasi data yang akurat dan kronologis. Semua modul dalam sistem Klimatologi Mikro berhasil diuji dan berfungsi dengan baik selama periode 24x3 hari dan tidak ada kegagalan sistem dasar yang signifikan selama periode uji coba.

2. Kemampuan Perangkat untuk Menanggapi Perubahan

Kemampuan perangkat untuk menanggapi perubahan menjadi indikator kunci, diukur dari seberapa cepat dan efektif sistem merespons perubahan cuaca di dalam *greenhouse*. Notifikasi atau peringatan *real-time* akan memastikan pengguna dapat merespons dengan cepat terhadap kondisi yang berubah. Sistem menunjukkan respons yang efektif

terhadap variasi mikroklimatologi dan perubahan nutrisi tanaman selama periode 24x7 hari. Fungsionalitas dan durabilitas sistem terverifikasi dengan sukses, tanpa kegagalan yang signifikan.

3. Stabilitas sistem

Stabilitas sistem selama operasi jangka panjang menjadi fokus utama. Sistem harus dapat beroperasi tanpa gangguan berarti, dan evaluasi rutin diperlukan untuk mendeteksi potensi gangguan atau kegagalan yang dapat mempengaruhi integrasi sensor secara keseluruhan. Sistem menunjukkan ketahanan fungsi yang optimal selama periode 24x30 hari dan tidak terjadi penurunan signifikan dalam performa sistem seiring berjalannya waktu.

3.14 Pembuatan Laporan

Tahap terakhir adalah penulisan laporan seluruh hasil pembuatan alat klimatologi mikro dalam *greenhouse* dan data hasil pengambilan data yang telah dibuat dalam bentuk laporan penelitian.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang “Implementasi Sistem *Monitoring* Klimatologi Mikro Pada Tanaman Hortikultura Dalam *Smart Greenhouse* Berbasis *Internet Of Things*” dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan penelitian dan analisis yang telah dilakukan implementasi perangkat sistem *monitoring* klimatologi mikro pada tanaman hortikultura dalam *smart greenhouse* yang berbasis *Internet of Things* (IoT). Implementasi ini melibatkan penggunaan beragam sensor, termasuk sensor kecepatan angin, sensor arah angin, sensor tekanan udara, sensor suhu, dan kelembaban udara, yang semuanya berkontribusi pada pemantauan kondisi klimatologi mikro di dalam *greenhouse* secara akurat dan berkelanjutan.
2. Berdasarkan penelitian dan analisis yang telah dilakukan, Data yang dikumpulkan dari sensor telah diintegrasikan dengan sistem *Intelligent Control System* (ICS) untuk mendukung pengelolaan operasional *greenhouse* secara efisien. Meskipun penelitian ini tidak membahas detail implementasi ICS, integrasi data iklim sebagai *input* menunjukkan potensi sistem ini dalam meningkatkan produktivitas dan efisiensi operasional *greenhouse* . Informasi yang akurat mengenai kondisi iklim mikro membantu dalam pengambilan keputusan yang tepat, memungkinkan penyesuaian kondisi lingkungan yang sesuai dengan kebutuhan tanaman, khususnya tomat, serta meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya.

3. Berdasarkan penelitian dan analisis yang dilakukan selama periode Maret hingga Mei, data semua parameter iklim mikro di *greenhouse* dikumpulkan setiap dua detik dan dikirimkan secara *real-time* ke *server* MQTT. Hasilnya menunjukkan bahwa sensor DHT22 untuk suhu dan kelembaban, serta BMP388 untuk suhu dan tekanan, memiliki persentase data normal yang sangat tinggi, yaitu sekitar 84,49%, menunjukkan keandalan yang tinggi dalam merekam kondisi iklim. Sensor arah angin juga menunjukkan performa yang baik dengan 83,39% data normal. Namun, sensor kecepatan angin memiliki persentase data normal lebih rendah, yaitu 71,62%, dikarenakan sensor *wind speed* yang di *non*-aktifkan mulai tanggal 20 Mei hingga periode pengumpulan data selesai. Secara keseluruhan, sistem *monitoring* iklim mikro ini sangat efektif dalam mendukung pengelolaan kondisi optimal di dalam *greenhouse*, memungkinkan pengelola membuat keputusan yang tepat berdasarkan data yang akurat dan dapat diandalkan.

5.2 Saran

Adapun saran yang disampaikan oleh peneliti berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini menggunakan kabel UTP *indoor* sebagai media transmisi data pada sensor, namun kabel tersebut memiliki keterbatasan dalam hal ketahanan terhadap kondisi lingkungan luar yang keras, seperti paparan sinar matahari, hujan, dan suhu ekstrem. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan kabel UTP *outdoor* agar ketahanan dan keandalan sistem dapat ditingkatkan. Kabel UTP *outdoor* dirancang khusus untuk penggunaan di luar ruangan dan lebih tahan terhadap kondisi lingkungan yang bervariasi, sehingga dapat memastikan *transmisi* data yang lebih stabil dan mengurangi risiko kerusakan kabel. Dengan demikian, sistem sensor di dalam *greenhouse* dapat beroperasi

lebih optimal dan menjaga keakuratan data pemantauan secara berkelanjutan.

2. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan sensor DHT untuk kelembaban dan suhu yang dapat mengirimkan data setiap satu detik agar semua sensor dalam sistem dapat mengirimkan data setiap satu detik secara bersamaan. Hal ini dikarenakan sensor kelembaban dan suhu yang digunakan dalam penelitian ini adalah DHT22 yang berdasarkan *datasheet* hanya bisa mengirimkan data setiap dua detik, sehingga seluruh sensor juga ikut mengirimkan data secara bersamaan setiap dua detik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Wardani and K. M. Lhaksana, "Purwarupa Perangkat IoT untuk *Smart Greenhouse* Berbasis Mikrokontroler," eProceedings of Engineering, vol. 5, no. 2, Aug. 2018.
- [2] E. Limbong, "Pengontrol Tirai Jendela Menggunakan Sensor BH1750 Berbasis Arduino Uno," Jan. 2018.
- [3] N. Fonna, Pengembangan Revolusi Industri 4.0 dalam Berbagai Bidang. Guepedia, 2019.
- [4] M. V. Burako and M. E. Sinta, "Diseminasi Rumah Tumbuh Tanaman Hidroponik sebagai Upaya Optimalisasi Tumbuh Kembang Tanaman di Kota Palangka Raya," KANGMAS: Karya Ilmiah Pengabdian Masyarakat, vol. 1, no. 3, pp. 193–198, Nov. 2019.
- [5] E. Sorongan, Q. Hidayati, and K. Priyono, "ThingSpeak sebagai Sistem *Monitoring* Tangki SPBU Berbasis Internet of Things," JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), vol. 3, no. 2, p. 219, Dec. 2018.
- [6] Y. P. Jayasuriya, C. S. Elvitigala, K. Wamakulasooriya, and B. Sudantha, "Low Cost and IoT Based *Greenhouse* with *Climate Monitoring* and Controlling System for Tropical Countries," in 2018 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE), Jun. 2018.
- [7] R. K. Kodali, S. C. Rajanarayanan, and L. Boppana, "IoT based Weather *Monitoring* and Notification System for *Greenhouses*," *Proceedings of the International Conference on Advanced Computing (ICoAC)*, Dec. 2019.
- [8] S. I. Cosman, C. A. Bilațiu, and C. S. Martiș, "Development of an Automated System to Monitor and Control a *Greenhouse*,"

Proceedings of the 2019 15th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES), Jun. 2019.

- [9] S. Pamungkas, “Smart Greenhouse System on Paprican Plants Based on Internet of Things,” *Telekontran: Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan*, vol. 7, no. 2, pp. 197–207, Feb. 2020.
- [10] R. K. M. Math and N. V. Dharwadkar, “IoT Based Low-cost Weather Station and Monitoring System for Precision Agriculture in India,” *Proceedings of the Second International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC 2018)*, Aug. 2018.
- [11] J. J. Hanan, *Greenhouses: Advanced Technology for Protected Horticulture*. CRC Press, 2017.
- [12] V. M. A. Weismann, M. Tulung, C. M. Salaki, and V. V. Memah, “Biopesticide from Combination of Bitung (*Barringtonia Asiatica* L.Kurtz) Seed and Papaya (*Carica Papaya*) Sap,” *International Journal of ChemTech Research*, vol. 12, no. 03, pp. 121–132, 2019.
- [13] D. Pitaloka, “Hortikultura: Potensi, Pengembangan dan Tantangan,” *Jurnal Teknologi Terapan: G-Tech*, vol. 1, no. 1, pp. 1–4, Aug. 2020.
- [14] I. P. Sari, I. H. Batubara, M. Basri, and A. H. Hazidar, “Implementasi Internet of Things Berbasis Website dalam Pemesanan Jasa Rumah Service Teknisi Komputer dan Jaringan Komputer,” vol. 1, no. 2, pp. 157–163, Oct. 2022.
- [15] R. Teja, “Introduction to ESP32 | Specifications, ESP32 DevKit Board, Layout,” *Electronics Hub*. Available : <https://www.electronicshub.org>. Accessed: Jan. 07, 2024.
- [16] “RS485 Wind Speed Transmitter (0~32.4m/s),” www.dfrobot.com. Available: <https://www.dfrobot.com/product-2339.html>. Accessed: Jan. 07, 2024.

- [17] “RS485 Wind Vane Direction Sensor,” www.dfrobot.com. Available: <https://www.dfrobot.com/product-2340.html>. Accessed: Jan. 08, 2024.
- [18] “Gravity: BMP388 Barometric Pressure Sensors,” www.dfrobot.com. Available: <https://www.dfrobot.com/product-1792.html>. Accessed: Jan. 08, 2024.
- [19] F. Puspasari, T. P. Satya, U. Y. Oktawati, I. Fahrurrozi, and H. Prisyanti, “Analisis Akurasi Sistem sensor DHT22 berbasis Arduino terhadap Thermohygrometer Standar,” *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol. 16, no. 1, p. 40, Feb. 2020.
- [20] E. A. Prastyo, “Komunikasi Data dengan ModBus Arduino (RS485),” *Arduino Indonesia | Tutorial Lengkap Arduino Bahasa Indonesia*. Available: <https://www.arduinoindonesia.id/2023/05/komunikasi-data-dengan-modbus-arduino-rs485.html>. Accessed: Jan. 17, 2024.