

**IMPLEMENTASI TEKNOLOGI *INTELLIGENCE CONTROL SYSTEM*  
DALAM MONITORING DAN PENGELOLAAN SISTEM AKTUATOR  
*SMART GREENHOUSE* UNTUK BUDIDAYA TANAMAN  
HORTIKULTURA**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**M. HERLY PRATAMA**

**NPM. 2015031033**



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

**2024**

## ABSTRAK

# IMPLEMENTASI TEKNOLOGI *INTELLIGENCE CONTROL SYSTEM* DALAM *MONITORING* DAN PENGELOLAAN SISTEM AKTUATOR *SMART GREENHOUSE* UNTUK BUDIDAYA TANAMAN HORTIKULTURA

Oleh

**M. HERLY PRATAMA**

Penelitian ini bertujuan membangun *Intelligence Control System* (ICS) optimal melalui pengendalian mikro klimatologi, pemberian nutrisi tanaman, dan monitoring real-time untuk pengelolaan greenhouse. Dengan mengintegrasikan teknologi *IoT*, penelitian ini mendukung pertanian berkelanjutan yang efisien dalam penggunaan sumber daya dan mengurangi dampak lingkungan. Fokus penelitian pada greenhouse skala menengah hingga besar dengan tanaman tomat. Sensor yang digunakan meliputi *pH*, *TDS*, suhu air (DS18B20), kelembaban tanah, BMP388, DHT22, dan relay. Aspek ekonomi tidak dianalisis secara mendalam, dan infrastruktur *IoT* diasumsikan tersedia. Rumusan masalah mencakup peningkatan pengelolaan greenhouse konvensional menjadi modern dan efisien melalui ICS, serta responsivitas teknologi terhadap perubahan kondisi lingkungan dalam greenhouse. Kesimpulannya, implementasi ICS berhasil menciptakan lingkungan optimal untuk pertumbuhan tanaman hortikultura, menurunkan suhu dari  $>35$  °C menjadi  $<33$  °C, dan meningkatkan stabilitas suhu-kelembaban dan pemberian nutrisi tanaman. Selama tiga bulan penelitian, jumlah data dikumpulkan secara *real-time* dengan akuisisi 84,28%, mendukung pertanian berkelanjutan dengan pengurangan dampak lingkungan.

Kata Kunci—*Intelligence Control System, Internet of Things, Greenhouse, Mikro Klimatologi, Nutrisi Tanaman, Pertanian Berkelanjutan*

## **ABSTRACT**

### **IMPLEMENTATION OF INTELLIGENCE CONTROL SYSTEM TECHNOLOGY FOR MONITORING AND CONTROLLING ACTUATOR SYSTEMS IN SMART GREENHOUSES FOR HORTICULTURAL CROP CULTIVATION**

*By*

**M. HERLY PRATAMA**

*This research aims to develop an optimal Intelligent Control System (ICS) through microclimatology control, plant nutrient provision, and real-time monitoring for greenhouse management. Integrating IoT technology supports sustainable agriculture with efficient resource use and reduced environmental impact. The study focuses on medium to large-scale greenhouses with tomato plants. Sensors used include pH, TDS, water temperature (DS18B20), soil moisture, BMP388, DHT22, and relay. Economic aspects are not deeply analyzed, assuming reliable IoT infrastructure. The research addresses enhancing conventional greenhouse management through ICS and its responsiveness to changing environmental conditions. Conclusions show that ICS implementation successfully creates an optimal environment for horticultural plant growth, reducing temperatures from  $>35\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $<33\text{ }^{\circ}\text{C}$  and enhancing environmental and nutrient stability. Over three months, real-time data collection demonstrated 84.28% efficiency in remote monitoring and control, supporting sustainable agriculture with reduced environmental impact.*

*Keywords— Intelligent Control System, Internet of Things, Greenhouse, Microclimatology, Plant Nutrients, Sustainable Agriculture*

**IMPLEMENTASI TEKNOLOGI *INTELLIGENCE CONTROL SYSTEM*  
DALAM *MONITORING* DAN PENGELOLAAN SISTEM AKTUATOR  
*SMART GREENHOUSE* UNTUK BUDIDAYA TANAMAN  
HORTIKULTURA**

Oleh

**M. HERLY PRATAMA**

**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 TEKNOLOGI  
INTELLIGENCE CONTROL SYSTEM  
DALAM MONITORING DAN  
PENGELOLAAN SISTEM AKTUATOR  
SMART GREENHOUSE UNTUK  
BUDIDAYA TANAMAN  
HORTIKULTURA**

Nama Mahasiswa : **M. Herly Pratama**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2015031033

Program Studi : Teknik Elektro

Jurusan : Teknik Elektro

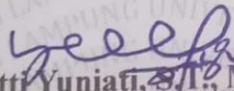
Fakultas : Teknik

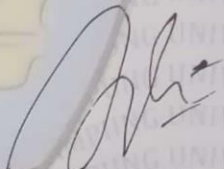
**MENYETUJUI**

**Komisi Pembimbing**

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

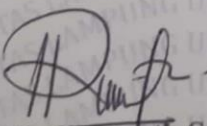
  
**Yetti Yuniati, S.T., M.T.**  
NIP. 198001132009122002

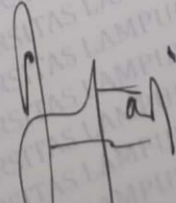
  
**Dr.-ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.**  
NIP. 197311281999031005

Mengetahui

Ketua Jurusan  
Teknik Elektro

Ketua Program Studi  
Teknik Elektro

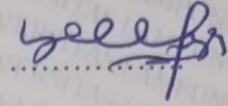
  
**Herlinawati, S.T., M.T.**  
NIP. 197103141999032001

  
**Sunadi, S.T., M.T.**  
NIP. 197311042000031001

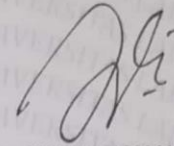
**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

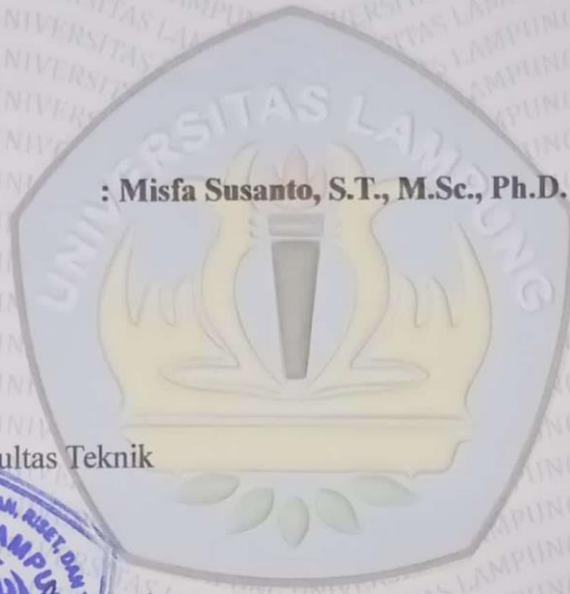
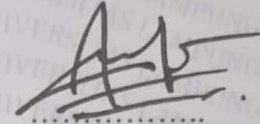
Ketua : **Yetti Yuniati, S.T., M.T.**



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. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **7 Agustus 2024**

## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Herly Pratama  
NPM : 2015031033  
Program Studi : Teknik Elektro  
Jurusan/Fakultas : Teknik Elektro/Teknik  
Alamat : Jl. Pendidikan Podomoro Kecamatan Talangpadang  
Kabupaten Tanggamus Provinsi Lampung, 35677.

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini yang berjudul "**Implementasi Teknologi *Intelligence Control System* Dalam *Monitoring* Dan *Pengelolaan Sistem Aktuator Smart Greenhouse* Untuk *Budidaya Tanaman Hortikultura***" 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

Bandarlampung, 03 November 2024



**M. Herly Pratama**

NPM. 2015031033

## RIWAYAT HIDUP



Penulis Lahir di Blora pada tanggal 17 Juli 2002 sebagai anak Pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Rasak dan Ibu Eli Yuryani. Penulis memulai pendidikan di SDN 1 Sinarsemendo pada tahun 2008 hingga 2014, SMPN 1 Talangpadang pada tahun 2014 hingga 2017 dan SMAN 1 Talangpadang pada tahun 2017 hingga 2020. Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung pada tahun 2020 melalui jalur PMPAP (Penerimaan Mahasiswa Perluasan Akses Pendidikan). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif berorganisasi pada Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) Universitas Lampung sebagai Anggota Departemen Penelitian dan pengembangan pada periode 2021 dan Departemen Penelitian dan Pengembangan periode 2022. Selain itu, saya juga menjadi beswan aktif di Forum mahasiswa PMPAP Universitas Lampung sebagai Kepala Departemen Komunikasi dan Informasi pada tahun 2021/2022 dan menjabat sebagai Kepala Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa(PSDM) pada periode 2022/2023, saya turut aktif di Laboratorium Telekomunikasi sebagai asisten selama tahun 2022 s.d. 2024. Pada semester 5, saya memilih mengambil konsentrasi Telekomunikasi dan Teknologi Informasi. Pencapaian saya yaitu berhasil Lolos Pendanaan Lomba Riset Sawit tahun 2024, membawa Himatro Unila mendapatkan pendanaan pada kegiatan PPK Ormawa Kemendikbud Ristek Tahun 2023, Lolos PIMNAS tahun 2022, Finaslis LIDM (Lomba Inovasi Digital Mahasiswa) tahun 2023, Lolos pendanaan PKM pada tahun 2022 dan tahun 2024, Juara 1 Lomba Inovasi Anugerah Daerah Provinsi Lampung tahun 2023, dan lolos pendanaan Program Mahasiswa Wirausaha (PMW) 2023. Selain itu, saya memiliki pengalaman magang selama satu semester di PT. Bisa Artifisial Indonesia. 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**



*Bismillahirrahmannirahiim*

*Alhamdulillah rabbil'alaamin, Atas Izin Allah yang Maha Kuasa  
Teriring shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW*

**KUPERSEMBAHKAN KARYA INI UNTUK**

*Ayah dan Ibu Tercinta*

**Bapak Rasak**

**&**

**Ibu Eli Yuryani**

*Dan Saudara-Saudaraku Tersayang:*

**M. Dimas Nurfauzi**

**M. Iqbal Arrasyit**

*Yang telah menjadi motivasi dan inspirasi serta tiada hentinya memberikan  
dukungan dan do'anya:*

**Keluarga Besar Yauhari, Dosen, Almamater, TELTI 20, Helios 2020,  
Ultramint, Penampungan Rumah Amal, dan Mahasiswa Lab. Telti**

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



## MOTTO

*wa may yattaqillâha yaj'al lahû min amrihî yusrâ*

“Dan barang-siapa yang bertakwa kepada Allah, niscaya Allah menjadikan baginya kemudahan dalam urusannya.”

(QS. At-Talaq:4)

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

“Maka sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan.”

(QS. Al-Insyirah:5)

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

“Barangsiapa yang tidak tahan lelahnya belajar, maka Allah akan menanggung perihnya kebodohan.” (Imam Syafi'i)

## SANWACANA

Alhamdulillah rabbil'alamin. Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi/tugas akhir ini dengan judul “Implementasi Teknologi *Intelligence Control System* Dalam *Monitoring* Dan Pengelolaan Sistem Aktuator *Smart Greenhouse* Untuk Budidaya Tanaman Hortikultura”. Dalam pelaksanaan dan pembuatan skripsi ini penulis menerima dukungan baik secara moril maupun materil yang sangat berharga dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih ke semua pihak yang telah membantu, khususnya kepada:

1. Kedua Orangtua tercinta dan seluruh keluarga penulis yang tidak hentinya mendo'akan serta memberikan dorongan semangat dan materi;
2. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung;
3. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung;
4. Ibu Yetti Yuniati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan ilmu, bimbingan, bantuan, masukan, dan pandangan kehidupan kepada penulis disetiap kesempatan dengan baik dan ramah;
5. Bapak Dr.-ing.Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang telah memberikan ilmu, bimbingan, masukan, motivasi, dan pandangan kehidupan kepada penulis disetiap kesempatan dengan baik dan ramah;
6. Bapak Misfa Susanto, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun kepada penulis;
7. Bapak Dr.-ing.Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. sebagai Bapak sekaligus Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan, nasehat dan bimbingan yang membangun bagi penulis selama menempuh perkuliahan;

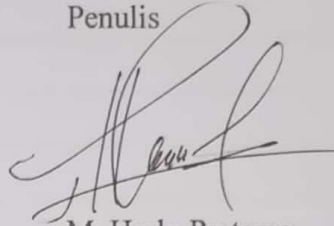
8. Ibu Dr,-ing. Melvi, S. T., M.T. sebagai Ibu yang telah membimbing, menyayangi, dan memberikan arahan yang terbaik selama menempuh perkuliahan
9. Segenap dosen di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama menempuh pendidikan perkuliahan;
10. Segenap staff di Jurusan Teknik Elektro yang telah membantu penulis baik dalam hal administrasi dan lain-lain;
11. Keluarga Besar Laboratorium Telekomunikasi dan Informasi yang memberikan banyak ilmu, masukan dan saran kepada penulis yang tidak bisa dibayarkan;
12. Keluarga Besar PPK Ormawa Desa Gisting Permai yang telah membantu banyak hal dalam menyelesaikan skripsi ini;
13. Keluarga Besar *Greenhouse*, Auliya Syahputra Siregar, M. Affan Siddiqie Asmara, Alpriecialian Renando, Dan Kiagus Muhammad Ade Iqbal Ramadhan yang telah Bersama-sama memberikan semangat dan gagasan dalam menyelesaikan skripsi ini;
14. Tim Mahasiswa Fakultas Pertanian yang telah membantu memberikan rekomendasi dan pemeliharaan tanaman;
15. Master Muhammad Rafif Musyaffa, Setiawan Margo Waluyo, dan Irfan Mirda yang selalu membantu dalam menyelesaikan semua *trouble* dalam pengerjaan skripsi ini;
16. Keluarga Besar Ultramint, Lutfi Widiyanto, Decky Ramandha, Rizaldi Armanda Yusup, Ghaly Raihan Atsil, Reyhan Gandaresta, Siswandi, Dita Salsabila, dan Siti Maryani yang telah membantu, memberi saran, inspirasi, dan canda tawa kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini;
17. Keluarga Besar Forma PMPAP Universitas Lampung;
18. Leting Teknik Elektro'20, terimakasih atas semangat dan kebersamaannya selama menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Elektro;
19. Keluarga Besar HIMATRO yang telah memberikan ilmu dan pengalaman kepada penulis selama pendidikan baik secara langsung maupun tak langsung;

20. Seluruh pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.

Penulis mengakui adanya kekurangan dalam skripsi ini dan dengan tulus menerima kritik serta saran yang membangun dari berbagai pihak demi kemajuan bersama. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Bandar Lampung, 03 November 2024

Penulis

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'M. Herly Pratama', written in a cursive style.

M. Herly Pratama

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>SURAT PERNYATAAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>vii</b>
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	<b>viii</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>ix</b>
<b>SANWACANA</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xviii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan Penelitian .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	3
1.6. Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1. Penelitian Terdahulu .....	6
2.2. Uraian Teori .....	8
2.2.1. <i>Smart farming</i> .....	8
2.2.2. <i>IoT dan ICT in Agriculture</i> .....	9
2.2.3. Raspberry Pi 4 Model B (Pi4B) .....	10
2.2.4. ESP32 .....	11
2.2.5. Sensor DHT22 AM2302 .....	12
2.2.6. <i>Soil Moisture Sensor</i> .....	13
2.2.7. Sensor pH .....	15
2.2.8. Sensor TDS .....	16

2.2.9. Sensor DS18B20.....	17
2.2.10. Relay 5V <i>Single-Channel</i> .....	18
2.2.11. Modem Tenda 4G07.....	19
2.2.11. ADS1115 .....	19
2.2.10 Tomat Cherry ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) .....	20
2.2.11. BMP388 Barometer Sensor .....	21
2.2.12. <i>Water Quality Tester</i> .....	23
2.2.13. <i>Water Pump</i> .....	24
2.2.14. <i>Automatic Pump Control</i> .....	25
2.2.15. Tangki Air .....	26
2.2.17. Irigasi <i>Dripper</i> .....	27
2.2.18 <i>Mist Nozzle</i> .....	28
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>29</b>
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian .....	29
3.2. <i>Capstone Project</i> .....	29
3.3. Alat dan Bahan .....	30
3.4. Tahapan Penelitian.....	31
3.4.1. Studi Literatur .....	33
3.4.2. Perancangan Sistem .....	33
3.4.2.1. Perancangan <i>Schematic Diagram Perangkat Intelligence Control System</i> .....	34
3.4.2.2. Perancangan <i>Wiring Diagram Perangkat Intelligence Control System</i> .....	36
3.4.2.3. Perancangan Catu Daya Perangkat <i>Intelligence Control System</i> .....	38
3.4.2.4. Perancangan PCB <i>Intelligence Control System</i> .....	39
3.4.2.5. Perancangan Alur Program <i>Intelligence Control System</i> .....	41
3.4.2.6. Skenario Akuisisi Data.....	43
3.4.3. Pemasangan Setiap Modul.....	44
3.4.4. Uji Coba.....	44
3.4.5. Indikator Keberhasilan.....	45
3.1. Keberhasilan Uji Fungsionalitas Dasar (24x3 hari).....	45
3.2. Keberhasilan Uji Fungsionalitas, Durabilitas, dan Respons Sistem (24x7 hari).....	45

3.3. Keberhasilan Uji Fungsionalitas, Durabilitas, dan Reliabilitas Sistem Jangka Panjang (24x30 hari).....	45
---	----

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... 46**

4.1. Hasil Perancangan Perangkat <i>Intelligence Control System</i> .....	46
4.1.1. <i>PCB</i> Perangkat <i>Intelligence Control System</i> .....	46
4.1.1.1. Hasil Perancangan <i>PCB</i> .....	46
4.1.1.2. Hasil Perancangan Catu Daya.....	48
4.1.2. Kalibrasi Perangkat <i>Intelligence Control System</i> .....	50
4.1.2.1. Kalibrasi Sensor pH .....	50
4.1.2.2. Kalibrasi Sensor TDS.....	51
4.1.2.3. Kalibrasi Sensor <i>Soil Moisture</i> .....	52
4.1.7. Implementasi <i>Intelligence Control System</i> pada <i>Greenhouse</i> .....	54
4.2. Pengujian Perangkat <i>Intelligence Control System</i> .....	57
4.2.1. Pengujian Fungsionalitas Sensor .....	57
4.2.1.1. Sensor pH.....	58
4.2.1.2. Sensor TDS ( <i>Total Dissolved Solids</i> ) .....	58
4.2.1.3. Sensor <i>Soil Moisture</i> .....	58
4.2.1.4. Sensor DHT22 dan BMP388 .....	58
4.2.2. Pengujian Pengiriman Data .....	59
4.2.2.1. Pengambilan data Timestamp .....	59
4.2.2.2. Komunikasi ESP32—Raspberrypi.....	60
4.2.2.2. Komunikasi Raspberrypi—MQTT <i>Server</i> .....	60
4.2.3. Pemasangan Pompa Nutrisi dan Pompa Pendingin .....	62
4.3. Data Hasil Perangkat <i>Intelligence Control System</i> .....	64
4.3.1. Profil Data.....	64
4.3.2. Data pH.....	93
4.3.3. Data TDS .....	94
4.3.4. Data DS18B20 .....	95
4.3.5. Data <i>Soil Moisture</i> .....	96
4.3.6. Data Suhu dan Kelembaban.....	98
4.3.6.1. Data Sensor BMP388.....	98
4.3.6.2. Data DHT22 .....	100
4.3.7. Data Sistem Pendingin dan Sistem Nutrisi .....	102



4.3.7.1. Sistem Pengairan Nutrisi.....	103
4.3.7.2. Sistem Pendingin Mist <i>Nozzle</i> .....	104
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>107</b>
5.1. Kesimpulan.....	107
5.2. Saran.....	108
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>109</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>115</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Raspberry Pi 4 Model B</i> .....	10
Gambar 2.2. Esp32 .....	11
Gambar 2.3. Sensor DHT22 AM2302 .....	13
Gambar 2.4. Sensor <i>Soil Moisture</i> .....	14
Gambar 2.4. Sensor pH .....	15
Gambar 2.5. Modul Sensor TDS .....	16
Gambar 2.6. Sensor DS18B20 .....	17
Gambar 2.7. Relay 5V <i>Single-Channel</i> .....	18
Gambar 2.8. Modem Tenda 4G07 .....	19
Gambar 2.9. ADS1115 .....	20
Gambar 2.10. BMP388 Barometer Sensor .....	22
Gambar 2.11. <i>Water Quality Tester EZ-9909</i> .....	23
Gambar 2.12. <i>Water Jet Pump dan Automatic Pump Control</i> .....	24
Gambar 2.13. <i>Automatic pump control (APC)</i> .....	25
Gambar 2.14. Tangki Air 250 L .....	26
Gambar 2.15. Irigasi <i>Dripper</i> .....	27
Gambar 2.16. <i>Mist Nozzle</i> .....	28
Gambar 3.1. Diagram Keseluruhan Pengembangan Sistem .....	30
Gambar 3.2. Tahapan Penelitian .....	32
Gambar 3.3. <i>Schematic Diagram Intelligence Control System</i> .....	35
Gambar 3.4. <i>Wiring Diagram Intelligence Control System</i> .....	37
Gambar 3.6. Perancangan <i>PCB Intelligence Control System</i> .....	40
Gambar 3.7. <i>Flow Chart Sistem Intelligence Control System</i> .....	42

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Spesifikasi <i>Raspberry Pi 4 Model B</i> .....	11
Tabel 2.2. Spesifikasi Relay 5V <i>Single-Channel</i> . .....	18
Tabel 2.3. BMP388 Barometer Sensor .....	22
Tabel 2.4. Spesifikasi Lengkap EZ-9909 .....	24
Tabel 2.5. Spesifikasi <i>Water Pump</i> .....	25
Tabel 3.1. Alat dan bahan yang digunakan. ....	30
Tabel 3.2. Koneksi <i>Schematic Diagram ICS</i> .....	36
Tabel 3.3. Spesifikasi <i>PCB Intelligence Control System</i> .....	41
Tabel 3.4. Skenario Akuisisi Data .....	43

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Pertanian merupakan sektor yang dapat diandalkan dalam pemulihan ekonomi nasional. Hal ini terbukti ketika terjadi krisis karena pandemi, Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat sektor pertanian merupakan sektor yang bertahan tetap tumbuh positif sebesar 2,59% di kuartal ke-IV tahun 2020. Komoditas tanaman pangan dan hortikultura merupakan dua komoditas yang tumbuh paling tinggi pada sektor pertanian yakni sebesar 10,47% dan 7,85% [1].

Indonesia adalah negara dengan jumlah penduduk pertanian terbanyak di dunia, sebagian besar orang Indonesia bekerja di bidang pertanian. Oleh karena itu, pertanian sangat penting untuk memenuhi *demand* yang terus meningkat untuk produk pertanian [2], dan karena urbanisasi semakin meningkat, lahan yang tersedia untuk pertanian semakin berkurang [3].

Untuk meningkatkan output, kekurangan tenaga kerja, perubahan cuaca yang ekstrem, dan fertilitas tanah yang menurun semuanya merupakan tantangan yang signifikan [4]. Semua tantangan tersebut akan meningkatkan masalah ketahanan pangan. Saat ini, ada dua cara untuk mengatasi ketahanan pangan. Pertama adalah mengembangkan lahan pertanian dengan cara tradisional, dan kedua adalah menggunakan teknologi modern untuk meningkatkan produksi. Opsi kedua adalah cara yang paling mudah dan efektif untuk mengatasi permasalahan yang ada saat ini [5].

Faktor-faktor ini menjadi alasan mendasar di balik kebutuhan mendesak untuk mengembangkan solusi yang cerdas dan efisien dalam mengontrol lingkungan pertanian [6]. Implementasi *Intelligence Control System (ICS)* yang berbasis *Internet of Things (IoT)* di dalam *Greenhouse* menjadi solusi yang inovatif untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan pertanian [7]. Sistem ini didesain khusus untuk memberikan solusi terhadap dua permasalahan utama yang dihadapi oleh para petani, yaitu pengendalian iklim di dalam *Greenhouse* dan manajemen

nutrisi tanaman [8]. Perubahan iklim dapat menyebabkan variasi suhu dan kelembaban yang signifikan, yang dapat berdampak negatif pada pertumbuhan dan kesehatan tanaman [9]. Oleh karena itu, sistem kontrol suhu dan kelembaban dalam *ICS* menjadi elemen kunci dalam memberikan lingkungan yang optimal bagi pertumbuhan tanaman [10]. Manajemen nutrisi tanaman juga menjadi aspek penting yang perlu diperhatikan. Nutrisi tanaman yang tidak seimbang dapat menyebabkan kerusakan kualitas tanah dan berpotensi merugikan hasil panen [11]. Dengan memanfaatkan sistem kontrol pompa nutrisi yang diatur oleh waktu penyiraman, para petani dapat memberikan nutrisi secara tepat pada waktu yang dibutuhkan oleh tanaman [12]. Berdasarkan hal tersebut penelitian ini akan membahas mengenai perancangan sebuah alat *Intelligence Control System* yang akan dipasang di dalam *Greenhouse* Laboratorium Lapang Terpadu Fakultas Pertanian yang berbasis *Internet of Things (IoT)*.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian implementasi *Intelligence Control System (ICS)* pada *Greenhouse* dapat diuraikan menjadi beberapa poin esensial yang mencerminkan kompleksitas dan urgensi dari penelitian ini:

1. Bagaimana cara memperbaiki pengelolaan *greenhouse* yang selama ini dilakukan secara konvensional menjadi lebih modern dan efisien melalui implementasi teknologi *Intelligence Control System*?
2. Bagaimana cara mengembangkan teknologi yang tidak hanya mampu menggantikan pengelolaan *greenhouse* secara konvensional tetapi juga dapat responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan di dalam *greenhouse*, mengingat keterbatasan teknologi *PLC* yang saat ini digunakan?

## **1.3. Batasan Masalah**

Implementasi *Intelligence Control System (ICS)* pada *Greenhouse*, beberapa poin singkat untuk batasan masalah dalam penelitian dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Penelitian ini terbatas pada *Greenhouses* dengan skala menengah hingga besar, sehingga hasilnya dapat diterapkan secara efektif pada konteks tersebut.
2. Fokus penelitian ini terutama pada tanaman tomat dengan mempertimbangkan kebutuhan mikro klimatologi dan nutrisi khusus.
3. Batasan terkait jenis sensor yang digunakan dalam *ICS* diantaranya, sensor pH, sensor TDS, sensor suhu air (DS18B20), sensor *soil moisture*, BMP388, DHT22, dan Relay.
4. Meskipun secara umum mempertimbangkan aspek ekonomi, penelitian ini tidak memasukkan analisis biaya secara mendalam,
5. Penelitian ini beroperasi dengan asumsi bahwa infrastruktur *IoT*, seperti konektivitas jaringan, tersedia dan dapat diandalkan di lokasi penelitian.
6. Penelitian ini tidak mencakup pengolahan media tanam dan bibit tanaman yang digunakan.

#### **1.4. Tujuan Penelitian**

Berikut adalah tujuan penelitian terkait implementasi *Intelligence Control System (ICS)* pada *Greenhouse*:

1. Membangun sistem *ICS* yang optimal melalui pengendalian mikro klimatologi, pemberian nutrisi tanaman, dan monitoring real-time untuk pengelolaan *greenhouse*.
2. Mengintegrasikan teknologi *IoT* untuk pemantauan, serta mendukung konsep pertanian berkelanjutan dengan efisiensi sumber daya dan pengurangan dampak lingkungan.

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

Berikut adalah manfaat penelitian terkait implementasi *Intelligence Control System (ICS)* pada *Greenhouse*:

1. Meningkatkan pengelolaan *greenhouse* melalui pengendalian mikro klimatologi, termasuk suhu, dan kelembaban, sehingga menciptakan lingkungan yang optimal bagi tanaman.
2. Mengoptimalkan nutrisi tanaman secara presisi untuk meningkatkan hasil panen dan kualitas produk pertanian.
3. Memberikan pemantauan *real-time* terhadap kondisi lingkungan dan tanaman, memungkinkan petani untuk merespons cepat terhadap perubahan dan tantangan.
4. Memfasilitasi pengelolaan dan pengawasan jarak jauh, memungkinkan petani memonitor sistem dari mana saja melalui platform online.
5. Menyediakan kontrol yang adaptif terhadap perubahan lingkungan, sehingga dapat menyesuaikan diri dengan fluktuasi suhu dan kelembaban.
6. Menyediakan kontrol nutrisi yang presisi untuk memenuhi kebutuhan tanaman secara akurat, menghindari kekurangan atau kelebihan nutrisi.
7. Mendorong pengembangan inovasi pertanian dengan menggabungkan teknologi *IoT* dan kontrol cerdas dalam sistem pertanian modern.

## **1.6. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan yang digunakan dalam pembahasan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini membahas latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, dan tujuan penelitian. Ini juga membahas prosedur penulisan laporan tentang penelitian Implementasi *Intelligence Control System* dalam Pertanian *Greenhouse*.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Membahas tentang penelitian-penelitian sebelumnya pada tinjauan pustaka, dan dasar-dasar teori dari penelitian Implementasi *Intelligence Control System* dalam pertanian *Greenhouse*

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Menjelaskan waktu, tempat, alat dan bahan, dan metode penelitian beserta tahapannya mengenai Implementasi *Intelligence Control System* dalam Pertanian *Greenhouse*

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

Membahas mengenai hasil implementasi teknologi yang telah diterapkan, data-data yang telah berhasil diakuisisi, dan Analisa terhadap data *Intelligence Control System* tanaman.

### **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 menjabarkan seluruh daftar pustaka yang dipakai dalam mendukung teori yang digunakan serta sumber data-data terverifikasi sebagai acuan implementasi teknologi.

### **LAMPIRAN**

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



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Hiep Xuan Huynh, Linh Nhut Tran, dan Nghia Duong-Trung berjudul “*Smart Greenhouse construction and irrigation control system for optimal Brassica Juncea*” (2023) [13] melakukan pembuatan desain, konstruksi, dan testing *Smart Greenhouse* dengan ukuran 30 m<sup>2</sup>, secara eksplisit berfokus pada budidaya dan pengembangan *Brassica Juncea*, varietas sawi yang umum ditanam di Vietnam. Fase konstruksi memerlukan integrasi cermat dari beragam teknologi dan sistem *IoT*, yang berpuncak pada penciptaan lingkungan yang disesuaikan untuk memenuhi kebutuhan unik budidaya *Brassica Juncea*.

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan oleh Hiep Xuan Huynh, Linh Nhut Tran, dan Nghia Duong-Trung adalah telah berhasil membangun Infrastruktur fisik dan mengembangkan serta mengimplementasikan antarmuka web yang kuat. Antarmuka ini memberdayakan pengguna untuk memantau dan mengontrol rumah kaca pintar dari jarak jauh dengan nyaman. Ini memberikan visualisasi parameter penting secara real-time, termasuk suhu, kelembaban, dan kelembaban tanah, memungkinkan pemantauan yang tepat dan mendukung pengambilan keputusan yang tepat dalam pengelolaan tanaman. Selain antarmuka web, merancang dan menyelesaikan aplikasi seluler Android dengan cermat, sehingga semakin meningkatkan aksesibilitas dan kenyamanan. Aplikasi seluler ini memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengontrol rumah kaca pintar saat bepergian.

Berdasarkan penelitian lain yang dilakukan oleh Sandi Pamungkas pada tahun 2019 dari Institut Teknologi Bandung dengan judul “*Smart Greenhouse System On Paprican Plants Based On Internet of Things*”. 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 dapat diakses dimana saja data-data tadi melalui *Smartphone* atau laptop [14].

Penelitian selanjutnya yang terkait dengan penelitian ini dilakukan oleh RajinderKumar M. Math dan Nagaraj V. Dharwadkar pada tahun 2018 dengan judul “*IoT Based Low-cost Weather Station and Monitoring System for Precision Agriculture in India*”. Pada penelitian ini membahas mengenai pengembangan sistem weather station berbiaya rendah berbasis untuk implementasi pertanian presisi di India. Penelitian ini menggunakan teknologi *IoT (Internet of Things)* untuk mengembangkan sistem *weather station* berbiaya rendah untuk pertanian presisi di India. parameter klimatologi yang dapat diukur oleh sistem pada penelitian ini meliputi suhu, kelembaban, kelembaban tanah, presipitasi, kecepatan angin, arah angin, radiasi matahari, radiasi UV, dan tekanan barometrik. Sistem ini dirancang untuk memberikan informasi cuaca secara *real-time* kepada petani, sehingga dapat mengambil keputusan pertanian yang tepat waktu berdasarkan kondisi cuaca yang ada [15].

Penelitian selanjutnya yang terkait dengan penelitian ini dilakukan oleh Silke Hemming, Feije de Zwart, Anne Elings, Anna Petropoulou, dan Isabella Righini yang berjudul “*Cherry tomato production in intelligent Greenhouses—Sensors and AI for control of climate, irrigation, crop yield, and quality*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi strategi kontrol jarak jauh berbasis kecerdasan buatan (*AI*) untuk memaksimalkan profitabilitas produksi tomat ceri dalam rumah kaca teknologi tinggi. Melalui "Autonomous *Greenhouse Challenge*" kedua, eksperimen enam bulan dilakukan di enam rumah kaca terpisah dengan tim-tim internasional yang berkompetisi membangun algoritma cerdas untuk mengendalikan iklim dan manajemen tanaman secara daring. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua tim berbantuan *AI* mengungguli sistem kontrol manual, membuka peluang dan mengidentifikasi tantangan ke depan bagi penerapan sistem kontrol jarak jauh dalam produksi rumah kaca demi memenuhi kebutuhan pangan global yang terus meningkat [16].

Penelitian selanjutnya yang terkait dengan penelitian ini dilakukan oleh Alejandro Castañeda-Miranda, dan Victor M. Castaño-Meneses yang berjudul “*Internet of things for Smart farming and frost intelligent control in Greenhouses*”. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem manajemen irigasi anti-beku cerdas untuk rumah kaca berbasis Internet of Things (IoT) dan kecerdasan buatan (AI). Membangun kelanjutan metode Castañeda dan Castaño (2017), sistem ini memanfaatkan Stasiun Cuaca, Jaringan Syaraf Tiruan (JST), dan Sistem Pakar Fuzzy (SPF) untuk memprediksi suhu dan mengontrol irigasi secara optimal.

JST memprediksi suhu internal rumah kaca dan lahan tanaman berdasarkan kelembaban, suhu udara luar, radiasi matahari, kecepatan angin, dan kelembaban udara internal. Keluaran prediksi JST dan SPF kemudian digunakan untuk mengaktifkan sistem distribusi air anti-beku secara otomatis.

Model JST menunjukkan akurasi tinggi dengan nilai  $R^2$  untuk prediksi suhu musim panas dan dingin masing-masing mencapai 90,23% dan 94,28%. SPF dengan lima keluaran (Tanpa-beku, Kemungkinan-beku, Be-beku-ringan, Be-beku-sedang, dan Be-beku-parah) mengontrol aktivasi sistem irigasi berdasarkan tingkat ancaman beku.

Sistem ini mandiri berkat panel surya, dan terkoneksi secara real-time melalui website, ponsel (*GSM/GPRS*), dan internet (*TCP/IP*) untuk pemantauan dan perolehan informasi jarak jauh [17].

## **2.2. Uraian Teori**

### **2.2.1. *Smart farming***

*Smart farming*, juga dikenal sebagai pertanian presisi, adalah sistem yang menggunakan teknologi canggih seperti sensor, jaringan komunikasi, dan aktuator untuk memantau dan mengelola berbagai aspek pertanian, termasuk kondisi tanah, cuaca, dan kesehatan tanaman [18].

Tujuan dari pertanian cerdas adalah untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya, meningkatkan hasil panen, dan meminimalkan dampak lingkungan [19].

Pertanian cerdas mempunyai potensi untuk meningkatkan produktivitas pertanian, mengurangi konsumsi sumber daya, dan meningkatkan kelestarian lingkungan [20].

Hal ini juga dapat memberikan informasi dan dukungan secara real-time kepada petani, sehingga memungkinkan mengambil keputusan yang lebih baik dan memberikan respons yang lebih efektif terhadap perubahan kondisi [21].

### **2.2.2. *IoT dan ICT in Agriculture***

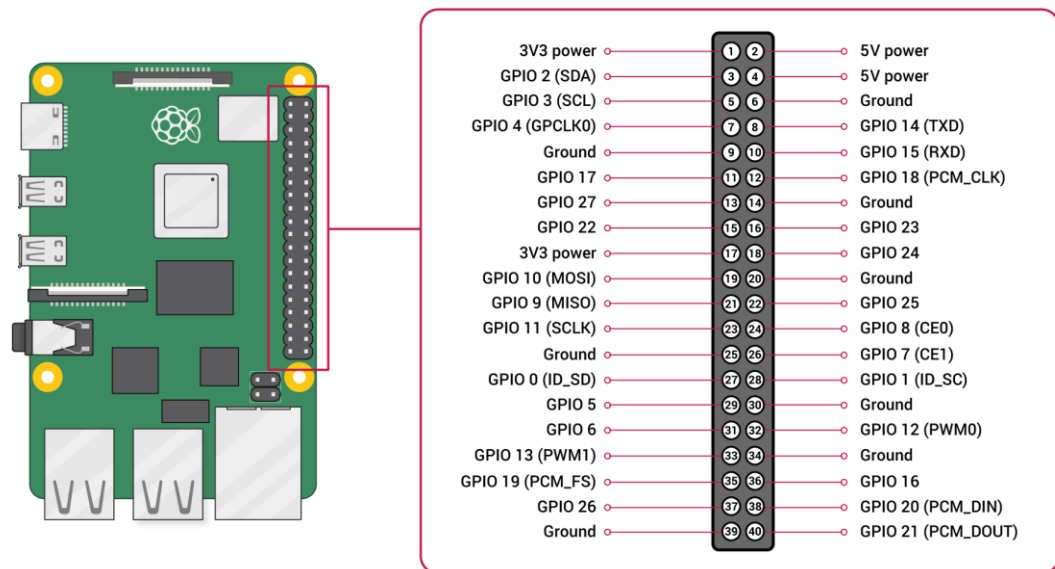
*IoT (Internet of Things)* dan *ICT (Information and Communication Technology)* memainkan peran penting dalam merevolusi pertanian, yang mengarah pada munculnya pertanian cerdas atau pertanian presisi [22,23].

Berikut beberapa contoh penerapan *IoT* dan *ICT* di bidang pertanian:

1. *Water Regulation: IoT* digunakan untuk mengatur air di bidang pertanian, khususnya di negara-negara seperti India dan Tiongkok. Hal ini melibatkan penggunaan platform pemantauan cerdas dan struktur sistem berbasis *IoT* untuk meningkatkan pengelolaan air dan memfasilitasi transisi dari pertanian tradisional ke pertanian modern.
2. *Smart Agricultural Solutions*: Kombinasi *IoT* dan komputasi awan digunakan untuk memberikan solusi pertanian cerdas kepada petani, memungkinkan penanganan data dalam jumlah besar yang terlibat dalam hasil pertanian secara efisien. Pendekatan ini mendorong pesatnya perkembangan modernisasi pertanian dan membantu menyelesaikan permasalahan yang berkaitan dengan petani
3. *Smart Soil Monitoring System*: Sistem pemantauan tanah cerdas berbasis *IoT* sedang dikembangkan untuk menyediakan sistem tertanam untuk pemantauan tanah dan irigasi. Sistem ini menggunakan berbagai sensor untuk memantau parameter tanah seperti pH, suhu, dan kelembapan, serta menyediakan datanya kepada petani melalui aplikasi seluler. Sistem irigasi otomatis juga digunakan berdasarkan kondisi tanah.

### 2.2.3. Raspberry Pi 4 Model B (Pi4B)

*Raspberry Pi 4 Model B (Pi4B)* adalah salah satu keluaran terbaru dari *Raspberry Pi* generasi keempat. Pi 4B adalah komputer yang digunakan untuk berkinerja tinggi[13], dengan fitur *Central Processing Unit ARM Cortex-A72 64-bit quad-core*. Selain itu, Pi4B memiliki *RAM* yang jauh lebih banyak dan kinerja *CPU*, *Graphics Processing Unit* dan *General Purpose Input/Output* yang ditingkatkan secara signifikan, semuanya dibentuk dalam bentuk serupa seperti *Raspberry Pi 3B+* generasi sebelumnya. Dengan segala kelebihan yang sudah disebutkan sebelumnya, tentunya membuat Pi4B sebagai *SCB (Single Board Computers)* yang cocok untuk proyek *Internet of Things*.



Gambar 2.1. *Raspberry Pi 4 Model B*

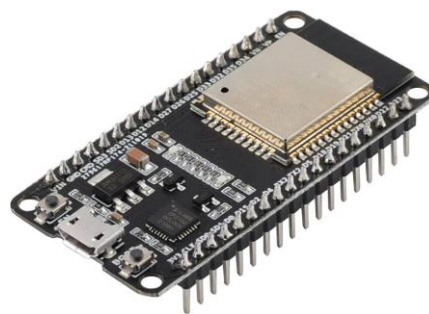
Fitur yang kuat dari *Raspberry Pi* adalah deretan pin GPIO pada board. Pi4B memiliki 40-pin GPIO pada board yang mana setiap pin GPIO dapat digunakan sebagai pin *input* atau *output* untuk berbagai keperluan. Spesifikasi yang dimiliki *Raspberry Pi 4 Model B* dijelaskan lebih lanjut pada tabel 2.1. berikut.

Tabel 2.1. Spesifikasi *Raspberry Pi 4 Model B*

Parameter	Spesifikasi
<i>Processor</i>	<i>Boardcom BCM2711, quad-core Cortex-A72 (ARM v8) SoC 64-bit @ 1.5GHz</i>
Konektivitas	LAN Nirkabel 2.4 GHz dan 5.0 GHz IEEE 802.11b/g/n/ac, <i>Bluetooth 5.0 BLE, Gigabit Ethernet 2 port USB 3.0 dan 2 port USB 2.flo0</i>
GPIO	<i>Header GPIO 40-pin standar</i>
Video dan Suara	<i>2 port HDMI mikro (hingga 4Kp60), VideoCore VI 3d Graphics</i>
SD Card	Slot kartu <i>Micro SC</i> untuk memuat sistem operasi dan penyimpanan data
Daya input	5V DC melalui konektor USB-C (min. 3A) 5V DC melalui header GPIO (min. 3A0) Power over Ethernet (PoE)
<i>Operating Temperature</i>	0-50°C
Parameter	Spesifikasi

#### 2.2.4. ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler *low-power system-on-a-chip* dengan kemampuan Wi-Fi dan Bluetooth bawaan [24]. Ini banyak digunakan dalam aplikasi *IoT* (Internet of Things), termasuk pertanian. ESP32 dapat digunakan untuk mengumpulkan data dari sensor dan mengirimkannya secara nirkabel ke *server* pusat atau platform *cloud* untuk analisis dan pengambilan Keputusan [25]. ESP32 adalah seperti pada Gambar 2.2.

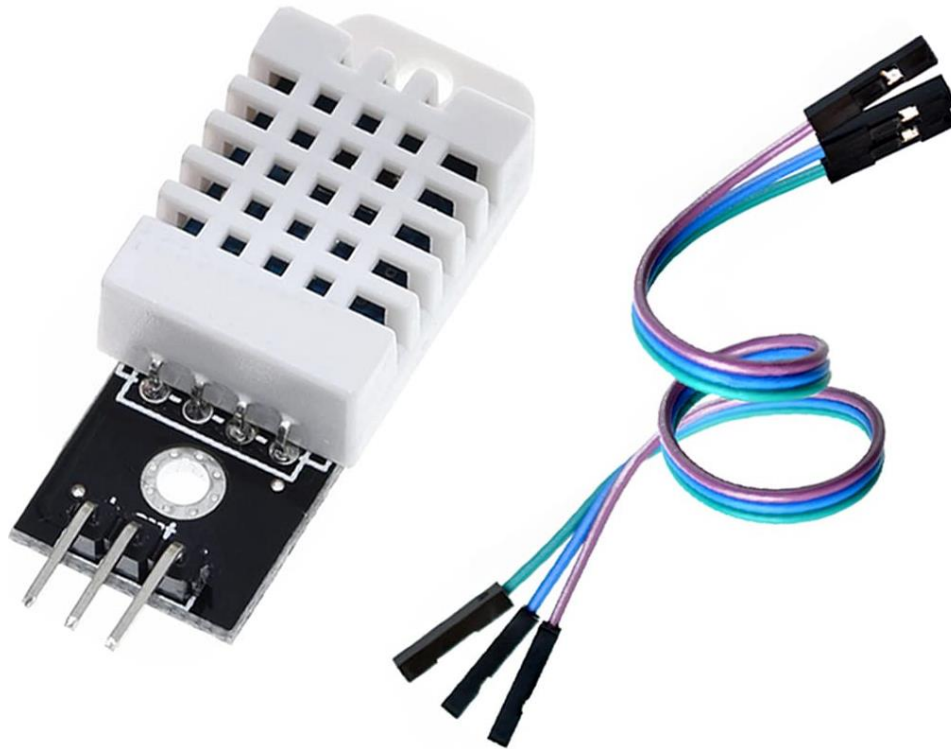


Gambar 2.2. Esp32

Esp32 adalah *platform* yang kuat dan hemat biaya untuk mengembangkan aplikasi *IoT* seperti pada Gambar 2.2. ESP32, yang dikembangkan oleh *Espressif Systems Company* (Shanghai, Tiongkok), menawarkan kombinasi fitur dan kemampuan yang kuat untuk aplikasi *IoT*. ESP32 memiliki beberapa fitur berikut: (1) prosesor *dual-core*, (2) konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi, (3) sejumlah besar pin input/output tujuan umum (GPIO), dan (4) konsumsi daya rendah. ESP32 dilengkapi dengan mikroprosesor Tensilica Xtensa LX6 *dual-core* (Santa Clara, CA, USA), yang memberikan kekuatan pemrosesan lebih tinggi dan memfasilitasi multitasking serta pelaksanaan tugas-tugas kompleks yang efisien. ESP32 memiliki antarmuka Wi-Fi dan Bluetooth bawaan yang menyederhanakan koneksi dan komunikasi dengan perangkat atau jaringan lain [26]. Mendukung berbagai protokol Wi-Fi, seperti 802.11 b/g/n, dan menyediakan opsi konektivitas *Bluetooth Classic* dan *Bluetooth Low Energy (BLE)*. ESP32 menyediakan banyak pin GPIO yang memfasilitasi koneksi dan kontrol perangkat dan sensor eksternal. Pin ini mendukung berbagai antarmuka, termasuk *SPI*, *I2C*, *UART*, dan *PWM*. ESP32 dirancang agar hemat daya, sehingga memungkinkan pengembangan aplikasi *IoT* yang hemat energi. Ia menawarkan mode tidur dan fitur manajemen daya yang membantu mengurangi konsumsi daya, sehingga cocok untuk proyek bertenaga baterai atau energi terbatas. ESP32 dapat dihubungkan ke layar, layar sentuh, atau indikator *LED* untuk memberikan antarmuka yang ramah pengguna kepada operator atau staf [27].

#### **2.2.5. Sensor DHT22 AM2302**

DHT22 (Gambar 2.3) adalah 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* [28].



Gambar 2.3. Sensor DHT22 AM2302

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 [29].

#### **2.2.6. Soil Moisture Sensor**

Sensor *Soil Moisture* adalah kelembaban tanah berbasis resistif yang mengukur konstanta dielektrik tanah [30]. Ini membantu dalam pemantauan kadar air tanah secara tepat dan berbiaya rendah. Ini cepat waktu respon, dapat membaca dalam



waktu kurang dari satu detik dan sangat sensitif pada volume air yang lebih tinggi konten [31].



Gambar 2.4. Sensor *Soil Moisture*

Pemeriksaan kelembaban tanah dimasukkan ke dalam tanah, sebaiknya di dalam posisi horizontal pada tingkat akar. Sensor ini berukuran kecil, kokoh, tahan air, dan tahan lama daya yang lebih kecil. Ia juga tidak sensitif terhadap salinitas air, tidak menimbulkan korosi seiring waktu, dan sensitif terhadap perubahan kecil sekalipun pada kandungan air [32]. Sensor jenis ini adalah sensitif terhadap perubahan suhu dalam kondisi basah, sehingga pengukuran suhu akan selalu demikian diperlukan. Probe biasanya ditempelkan pada alat pembaca kelembaban tanah untuk membentuk jaringan sensor nirkabel, jaringan tersebut banyak digunakan dalam pertanian presisi dan cerdas irigasi. Salah satu perangkat tersebut adalah pencatat data kelembaban tanah yang menampilkan pembacaan kadar air pada layar digital. Ada dua sarana komunikasi antara sistem dan pengguna jauh; terlebih dahulu bacaannya dikirim melalui *Short Messaging Service* (SMS) di Jaringan *GSM*, dan

kedua pembacaannya dapat disimpan dalam kartu memori yang dapat ditransfer ke komputer untuk dianalisis [33].

### 2.2.7. Sensor pH

Sensor pH memainkan peran penting dalam pertanian dengan memberikan informasi berharga tentang tanah dan air. Sensor pH di bidang pertanian adalah perangkat yang mengukur keasaman atau alkalinitas tanah atau air yang digunakan untuk Bertani. Sensor pH membantu petani menentukan pH tanah, sehingga dapat menilai ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Menyesuaikan pH tanah ke kisaran yang sesuai memastikan bahwa nutrisi penting dapat diakses oleh tanaman, mendorong pertumbuhan yang sehat dan memaksimalkan hasil panen. Pengujian tanah secara teratur, teknik pengambilan sampel yang tepat, kalibrasi, dan interpretasi pembacaan pH sangat penting untuk penggunaan sensor pH yang efektif di bidang pertanian [34].



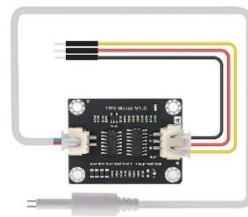
Gambar 2.4. Sensor pH

Ada beberapa produk sensor pH yang tersedia di pasaran, seperti *Vernier Tris-Compatible Flat* pH Sensor, jajaran probe pH dan mikrokomputer Atlas Scientific, Atlas Scientific EZO-pH Kit, dan Sensor pH Analog Gravitasi DFRobot. Produk-produk ini menawarkan berbagai pilihan penginderaan pH yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan aplikasi yang berbeda, dan dapat dengan mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler populer untuk berbagai proyek. Sensor pH tanah Renke adalah sensor PH tanah yang dikembangkan oleh perusahaan yang

memiliki akurasi tinggi, kecepatan pengukuran yang cepat, output yang stabil, dan dapat digunakan secara luas di berbagai tanah. Cangkang sensor mengadopsi pot vakum, tingkat perlindungan IP68, dapat dikubur di dalam tanah untuk waktu yang lama [35].

### 2.2.8. Sensor TDS

Sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) digunakan untuk mengukur konsentrasi padatan terlarut dalam cairan, termasuk nutrisi dalam larutan nutrisi cair yang digunakan di bidang pertanian. Sensor TDS sangat penting untuk aplikasi hidroponik, hortikultura, dan pertanian untuk memastikan bahwa larutan nutrisi memiliki kekuatan yang sesuai [36].



Gambar 2.5. Modul Sensor TDS

Sensor konduktivitas dan TDS mengukur seberapa konduktif air, mengukur seberapa kuat larutan nutrisi tersebut. Jika larutan nutrisi terlalu lemah, pembacaan akan turun selama beberapa hari setelah diganti, yang menunjukkan bahwa nutrisi tidak cukup kuat. Sebaliknya, jika nutrisi meningkat, itu pertanda bahwa nutrisi terlalu kuat atau ada kelebihan nutrisi. Informasi ini sangat penting bagi petani untuk membuat keputusan yang tepat. Ada beberapa produk sensor TDS yang tersedia di pasaran, seperti Pengukur Nutrisi Milwaukee EC/TDS, yang dirancang untuk hidroponik, hortikultura, dan pertanian, serta Pengukur TDS *CityFarmer*, yang cocok untuk pengujian kualitas air minum rumah tangga. Pengukur konduktivitas dan TDS juga dapat digunakan untuk menentukan kualitas air, menguji dan menstandarisasi konsentrasi pupuk cair dalam botol semprot [37].

### 2.2.9. Sensor DS18B20

Pemantauan suhu air sangat penting untuk memastikan kondisi optimal bagi pertumbuhan tanaman, terutama dalam sistem hidroponik. Meskipun hasil pencarian tidak secara langsung memberikan informasi tentang sensor suhu air untuk nutrisi cair di bidang pertanian, penting untuk dicatat bahwa sensor suhu air biasanya digunakan dalam sistem pertanian hidroponik dan pertanian tanpa tanah untuk mempertahankan suhu yang sesuai untuk larutan nutrisi.

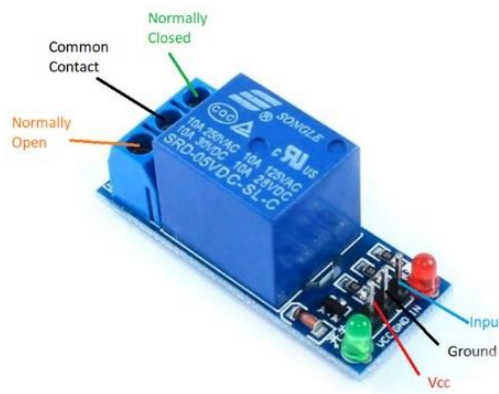


Gambar 2.6. Sensor DS18B20

Sensor-sensor ini, seperti sensor DS18B20, diintegrasikan ke dalam sistem kontrol untuk memantau dan mengontrol suhu air dalam pengaturan hidroponik. Selain itu, beberapa sistem pemantauan terintegrasi untuk pertanian dapat menyertakan sensor untuk suhu air bersama dengan sensor konduktivitas dan pH untuk memberikan data komprehensif untuk manajemen larutan nutrisi. Oleh karena itu, sensor suhu air merupakan komponen penting dari sistem sensor pertanian, terutama dalam aplikasi pertanian hidroponik dan pertanian tanpa tanah [38].

### 2.2.10. Relay 5V Single-Channel

Relay adalah komponen penting dalam otomatisasi sistem irigasi dan pemupukan di rumah kaca. Relay digunakan untuk mengontrol pengoperasian pompa, katup, dan peralatan lain yang terlibat dalam pengelolaan larutan air dan nutrisi. Dengan mengintegrasikan relay ke dalam sistem, petani dapat mengotomatiskan proses pengiriman air dan nutrisi ke tanaman, memastikan kontrol yang tepat dan pemanfaatan sumber daya yang efisien.



Gambar 2.7. Relay 5V Single-Channel

Penggunaan relai dalam sistem pemupukan rumah kaca memungkinkan otomatisasi dosis nutrisi, kontrol katup irigasi, dan pengoperasian pompa berdasarkan data dari berbagai sensor. Sensor-sensor ini termasuk sensor kelembaban tanah, sensor ketinggian air, sensor pH, dan sensor konduktivitas, yang memberikan informasi penting untuk pengelolaan air dan pengiriman nutrisi yang optimal ke tanaman [39]. Spesifikasi Relay 5V Single-Channel dijelaskan lebih detail pada Tabel 2.2. Spesifikasi Relay 5V Single-Channel berikut.

Tabel 2.2. Spesifikasi Relay 5V Single-Channel.

Parameter	Spesifikasi
Supply Voltage	3,75V to 6V
Quiescent Current	2 mA
Current when the relay is active	~70mA
Relay maximum contact voltage	250VAC or 30VDC
Relay maximum current	10A

### 2.2.11. Modem Tenda 4G07

Tenda 4G07 adalah *Wireless gateway* yang mengintegrasikan LTE dan akses *uplink ethernet* berkecepatan tinggi, sehingga dapat menggunakan kecepatan data *dual band* setinggi 1167 Mbps secara bersamaan. Dengan jangkauan sinyal LTE untuk kinerja terbaik pada Tenda 4G07 sehingga memungkinkan user untuk menerima akses internet tanpa kabel di daerah terpencil. Tenda 4G07 juga memiliki LTE CAT 4 yang dapat memberikan kecepatan maksimum sebesar 150 Mbps. Kemudian Tenda 4G07 juga memiliki teknologi Wi-Fi 802.11AC yang kuat sehingga dapat memberikan kecepatan nirkabel hingga 1200Mbps.



Gambar 2.8. Modem Tenda 4G07

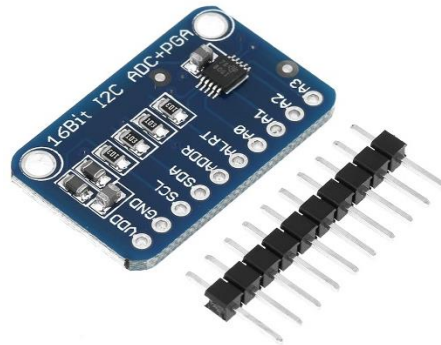
### 2.2.11. ADS1115

ADS1115 adalah modul penguat sinyal dan konverter analog-ke-digital (ADC) dengan resolusi 16-bit yang banyak digunakan dalam aplikasi elektronik untuk mengukur sinyal analog dengan presisi tinggi. Modul ini dibuat oleh Texas Instruments dan menawarkan empat saluran diferensial atau dua saluran diferensial dan dua saluran single-ended yang dapat dipilih melalui antarmuka I2C. ADS1115 memiliki fitur penguatan programabel (PGA) yang memungkinkan pengguna untuk memperkuat sinyal masukan sebelum dikonversi menjadi data digital, membuatnya ideal untuk mengukur sinyal yang sangat lemah atau fluktuasi kecil dalam tegangan.

ADS1115 mendukung berbagai rentang tegangan masukan yang dapat diatur untuk mengakomodasi berbagai aplikasi, mulai dari sensor suhu hingga pengukuran

tegangan baterai. Dengan kecepatan sampling hingga 860 sampel per detik, modul ini mampu memberikan data yang cepat dan akurat. Ukuran yang kompak dan konsumsi daya yang rendah menjadikan ADS1115 pilihan populer dalam proyek-proyek mikrokontroler, sistem akuisisi data, dan perangkat pengukuran portabel.

ADS1115 digunakan untuk mengkonversi sinyal analog yang diberikan oleh sensor *soil* menjadi sinyal digital untuk kemudian diproses di ESP32.



Gambar 2.9. ADS1115

#### 2.2.10 Tomat Cherry (*Solanum lycopersicum*)

Tanaman Tomat cherry atau *Solanum lycopersicum* membutuhkan nutrisi yang tepat untuk tumbuh dengan baik. Buah tomat memiliki kandungan vitamin dan nutrisi yang tinggi, seperti likopen dan  $\beta$ -karoten, yang penting untuk kesehatan manusia. Untuk memastikan kebutuhan nutrisi tanaman tomat terpenuhi, petani dapat menggunakan teknologi hidroponik yang memungkinkan pengaturan pasokan nutrisi secara langsung ke akar tanaman. Selain itu, penggunaan sensor lingkungan seperti sensor suhu, kelembaban, dan sensor nutrisi tanaman dapat membantu petani dalam memantau dan mengontrol lingkungan tumbuh tanaman secara optimal. Keadaan temperatur dan kelembaban yang tinggi dapat berpengaruh kurang baik terhadap pertumbuhan, produksi, dan kualitas buah tomat. Oleh karena itu, pengaturan lingkungan di dalam *Greenhouse* menjadi sangat penting, termasuk pengaturan suhu, kelembaban, intensitas cahaya, dan kualitas air. Pemantauan pertumbuhan tanaman, kualitas air dan nutrisi, serta pengaturan lingkungan di dalam *Greenhouse* merupakan tahap penting dalam pelaksanaan teknologi *Greenhouse* dan hidroponik. Dalam hal budi daya tanaman tomat, tanaman tomat

memerlukan intensitas cahaya matahari sekitar 10-12 jam tiap hari, tanah yang gembur, kadar keasaman pH antara 5-6, dan kelembaban yang relatif diperlukan untuk tanaman tomat adalah 80%. Tomat dapat dipanen pertama kali setelah berumur 90 hari sejak pindah tanam [40].

Kondisi iklim terbaik untuk tanaman tomat meliputi suhu, kelembaban, pH, dan TDS nutrisi. Berikut adalah beberapa kondisi yang diperlukan:

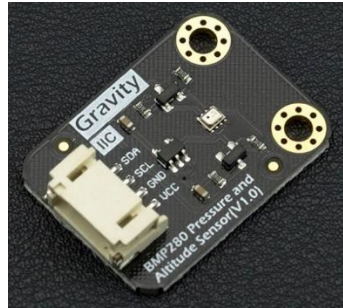
1. Suhu: Tanaman tomat membutuhkan suhu yang stabil dan terkendali. Suhu yang terbaik bagi pertumbuhan tanaman tomat adalah 24—29 °C pada siang hari dan 17—20 °C pada malam hari
2. Kelembaban: Tanaman tomat memerlukan kelembaban yang relatif diperlukan, yaitu 80%,
3. pH: Tanaman tomat memerlukan pH tanah yang stabil dan terkendali. Idealnya pH tanah adalah 5-6,
4. TDS nutrisi: Tanaman tomat memerlukan nutrisi yang tepat untuk tumbuh dengan baik. Nutrisi yang diperlukan tanaman tomat adalah nutrisi AB mix, yang memiliki kandungan vitamin dan nutrisi yang tinggi, seperti likopen dan  $\beta$ -karoten,

*Greenhouse* memungkinkan petani untuk mengatur dan mengontrol suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya yang optimal bagi pertumbuhan tanaman. Selain itu, hidroponik memungkinkan pengaturan pasokan nutrisi secara langsung ke akar tanaman, sehingga tanaman tomat menerima nutrisi yang tepat sesuai dengan tahap pertumbuhannya [41].

#### **2.2.11. BMP388 Barometer Sensor**

BMP388 adalah sebuah sensor digital yang digunakan untuk memantau suhu, kelembaban, dan tekanan udara. Dalam beberapa proyek smart *greenhouse*, BMP388 digunakan untuk mengumpulkan data tentang kondisi lingkungan di dalam *greenhouse*.





Gambar 2.10. BMP388 Barometer Sensor

BMP388 sangat berguna dalam proyek smart *greenhouse* karena dapat memberikan informasi yang akurat tentang kondisi lingkungan di dalam *greenhouse*, sehingga memungkinkan penggunaan sistem kontrol yang lebih efektif dan efisien. Sensor BMP388 dapat mendeteksi tekanan udara, suhu dan ketinggian dan kompatibel dengan Arduino. Dibandingkan dengan sensor barometer BMP180 generasi terakhir, sensor ini memiliki konsumsi daya yang lebih rendah, resolusi lebih tinggi, dan frekuensi pengambilan sampel lebih tinggi. Biasanya, sensor tekanan barometrik digunakan untuk mengukur tekanan dan suhu udara. Sensor barometer BMP388 didasarkan pada teknologi sensor tekanan resistif *Bosch Piezo*. Ia memiliki EMC yang tinggi, akurasi tinggi, dan stabilitas jangka panjang. Akurasi relatifnya adalah  $\pm 0,12$  hPa, yang setara dengan perbedaan ketinggian  $\pm 1$  m. Kisaran suhu pengoperasian untuk stabilitas jangka panjang adalah  $0 \sim 65$  °C. Spesifikasi lengkapnya terdapat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. BMP388 Barometer Sensor

Parameter	Spesifikasi
SKU	SEN0206
<i>Operating Voltage</i>	3,3V/5V
<i>Operating Current</i>	2,7 $\mu$ A @ 1 Hz sampling frequency
<i>Pressure Measurement Range</i>	300 ~ 1100 hPa
<i>Relative Accuracy</i>	$\pm 0,12$ hPa, equiv. to $\pm 1$ m (@25°C)
<i>Temperature Measurement Range</i>	0 ~65 °C
Akurasi Temperature	0,01°C
Dimensi	30 x 22mm/ 1,18 x 0,87"
Interface	Gravity-I2C 4pin
Berat	12g

### 2.2.12. *Water Quality Tester*

*Water Quality Tester 5in1* EZ-9909 dapat digunakan untuk kalibrasi sistem aktuator di dalam *greenhouse*. EZ-9909 dapat mengukur berbagai parameter kualitas air, termasuk pH, TDS, EC, dan salinitas. Ketersediaan parameter ini memungkinkan pengguna untuk memantau kualitas air secara lebih detail dan akurat. EZ-9909 memiliki akurasi yang tinggi, dengan toleransi pengukuran pH sebesar  $\pm 0,1\%$  dan TDS sebesar  $\pm 1\%$ . Akurasi ini sangat penting dalam aplikasi *greenhouse*, di mana perubahan kecil dalam pH dan TDS dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman.



Gambar 2.11. *Water Quality Tester* EZ-9909

EZ-9909 memiliki rating IP67, yang berarti perangkat ini dapat digunakan dalam lingkungan air dan dapat menahan tekanan air hingga 1 meter. Fitur ini sangat berguna dalam aplikasi *greenhouse*, di mana perangkat seringkali terkena air. EZ-9909 dilengkapi dengan baterai 3 x LR44 yang dapat digunakan selama beberapa jam. Fitur ini memungkinkan pengguna untuk menggunakan perangkat secara portabel dan tanpa perlu khawatir tentang baterai. EZ-9909 dilengkapi dengan display yang dapat menampilkan hasil pengukuran dengan jelas. Fitur ini memungkinkan pengguna untuk memantau hasil pengukuran secara langsung dan membuat keputusan yang lebih efektif. Dengan fitur-fitur tersebut, EZ-9909 dapat membantu dalam kalibrasi sistem aktuator di dalam *greenhouse*, memungkinkan pengguna untuk memantau kualitas air secara lebih detail dan mengoptimalkan pertumbuhan tanaman.

Tabel 2.4. Spesifikasi Lengkap EZ-9909

Parameter	Spesifikasi
Bahan	Plastik
EC Uji Rentang	0 to10000uS/cm 10,01-19,99ms 20,1-400 mS/CM.
Resolusi	1uS/cm; 0,1 mS/CM
Akurasi	± 2%

### 2.2.13. *Water Pump*

Implementasi *Water Pump* sebagai tenaga pendorong dalam sistem pompa pendingin (*mist nozzle*) dan pompa nutrisi (selang *dripper*) merupakan inovasi penting dalam *Intelligence Control System* pada smart *greenhouse*. *Water Jet Pump* berfungsi sebagai komponen utama yang menyediakan tekanan air yang cukup kuat untuk menyempotkan air dalam bentuk kabut melalui *mist nozzle*. Sistem pendingin ini secara efektif menurunkan suhu udara di dalam *greenhouse*, menciptakan lingkungan yang lebih sejuk dan optimal untuk pertumbuhan tanaman. Penggunaan kabut air membantu menjaga kelembaban udara, yang sangat penting untuk tanaman yang membutuhkan kondisi lembab.



Gambar 2.12. *Water Jet Pump* dan *Automatic Pump Control*

Selain itu, *Water Jet Pump* juga memainkan peran vital dalam sistem pompa nutrisi. Dengan tekanan yang dihasilkan, pompa ini mendorong larutan nutrisi melalui selang *dripper* langsung ke akar tanaman. Distribusi nutrisi yang tepat dan efisien ini memastikan bahwa setiap tanaman menerima jumlah nutrisi yang sesuai untuk pertumbuhannya. Implementasi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan

air dan nutrisi, tetapi juga memungkinkan kontrol yang lebih presisi melalui sistem kontrol pintar. Dengan pemantauan dan penyesuaian otomatis berdasarkan kebutuhan tanaman, *Water Jet Pump* membantu menciptakan lingkungan yang ideal untuk pertumbuhan tanaman yang sehat dan produktif dalam smart *greenhouse*.

Tabel 2.5. Spesifikasi *Water Pump*

Parameter	Spesifikasi
Tipe	SHIMIZU PS-116 BIT
Voltage/Hz	220V/50 Hz
Kapasitas Maksimal	29 l/min
Daya Hisap	max 9 m
Ukuran pipa	1" x 1"
Daya Output Motor	125 W
Konsumsi Arus Listrik	1,3 A
Head Max	33 m
RPM	2900

#### 2.2.14. *Automatic Pump Control*

Implementasi *automatic pump control* dalam sistem *Intelligence Control System* pada *smart greenhouse* merupakan inovasi penting untuk memastikan keamanan dan efisiensi operasional water pump.



Gambar 2.13. *Automatic pump control (APC)*

*Automatic pump control* berfungsi sebagai pengaman dan pengontrol utama untuk water pump, yang digunakan sebagai tenaga pendorong dalam sistem pompa

pendingin (*mist nozzle*) dan pompa nutrisi (selang *dripper*). Dengan teknologi ini, pengoperasian pompa menjadi lebih andal dan responsif terhadap kondisi yang berubah di dalam *greenhouse*. Sistem ini secara otomatis mengaktifkan dan menonaktifkan pompa berdasarkan kebutuhan pendinginan atau penyiraman nutrisi, mengoptimalkan penggunaan sumber daya air dan listrik. Selain itu, *automatic pump control* dilengkapi dengan fitur pengaman yang mencegah kerusakan akibat kondisi yang tidak diinginkan seperti tekanan berlebih atau kekurangan air. Dengan adanya sistem kontrol otomatis ini, *smart greenhouse* dapat menjaga lingkungan tumbuh tanaman yang optimal secara lebih konsisten dan efisien, sekaligus mengurangi risiko kegagalan sistem dan meminimalkan intervensi manual.

#### 2.2.15. Tangki Air

Implementasi tangki air berkapasitas 250 liter sebagai penampung suplai air dalam sistem *Intelligence Control System* pada *smart greenhouse* memainkan peran penting dalam menjaga keberlanjutan dan efisiensi sistem.



Gambar 2.14. Tangki Air 250 L

Tangki ini berfungsi sebagai sumber air utama untuk sistem pompa pendingin (*mist nozzle*) dan pompa nutrisi (selang *dripper*). Dengan kapasitas besar, tangki ini mampu menyediakan air yang cukup untuk mendukung kebutuhan irigasi dan pendinginan dalam jangka waktu yang lebih lama tanpa memerlukan pengisian ulang yang sering. Ini sangat penting untuk menjaga stabilitas lingkungan dalam *greenhouse*, terutama selama periode panas atau saat kebutuhan nutrisi tanaman meningkat. Sistem kontrol pintar secara otomatis mengelola penggunaan air dari tangki, memastikan distribusi yang efisien dan tepat waktu ke *mist nozzle* dan selang *dripper*. Selain itu, tangki air yang besar juga memungkinkan penambahan nutrisi secara terukur, memastikan tanaman mendapatkan suplai air dan nutrisi yang optimal. Dengan demikian, implementasi tangki air 250 liter tidak hanya mendukung keberlanjutan sistem tetapi juga meningkatkan efektivitas pengelolaan air dan nutrisi dalam smart *greenhouse*.

#### **2.2.17. Irigasi *Dripper***

Pemanfaatan selang *dripper* dalam sistem pengairan nutrisi tanaman di smart *greenhouse* merupakan solusi efektif untuk memastikan distribusi air dan nutrisi yang efisien dan tepat sasaran. Selang *dripper* dirancang untuk mengeluarkan air secara perlahan dan langsung pada akar tanaman, mengurangi pemborosan air yang sering terjadi pada metode irigasi konvensional. Dengan metode ini, setiap tanaman mendapatkan jumlah air dan nutrisi yang diperlukan tanpa mengalami over-irrigation atau kekurangan air.



Gambar 2.15. Irigasi *Dripper*

Efisiensi penggunaan metode *dripper* terlihat dari kemampuan sistem untuk menjaga kelembaban tanah secara konsisten, meningkatkan penyerapan nutrisi oleh tanaman, dan mengurangi risiko penyakit tanaman yang disebabkan oleh kelembaban berlebih di sekitar daun dan batang. Selain itu, metode ini juga menghemat air karena air tidak tersebar ke area yang tidak diperlukan, mengurangi evaporasi, dan memastikan bahwa sumber daya air digunakan secara maksimal.

### 2.2.18 *Mist Nozzle*

Pemanfaatan *mist nozzle* dalam sistem pendinginan ruangan pada *greenhouse* merupakan inovasi penting untuk menjaga suhu dalam lingkungan pertanian terkendali.



Gambar 2.16. *Mist Nozzle*

*Mist nozzle* bekerja dengan menyemprotkan air dalam bentuk kabut halus, yang segera menguap dan menyerap panas dari udara sekitarnya, sehingga menurunkan suhu di dalam *greenhouse*. Metode pendinginan ini sangat efektif karena mampu menurunkan suhu dengan cepat tanpa membasahi tanaman atau lantai secara berlebihan. Implementasi *mist nozzle* juga membantu dalam menjaga kelembaban relatif di dalam *greenhouse*, yang penting untuk kesehatan tanaman dan mengurangi stres akibat suhu tinggi. Selain itu, sistem pendinginan ini dapat diintegrasikan dengan kontrol otomatis, memungkinkan penyesuaian suhu secara real-time berdasarkan data sensor, sehingga memastikan kondisi optimal untuk pertumbuhan tanaman.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada:

Waktu : Oktober 2023 – Mei 2024

Tempat : Laboratorium Teknik Telekomunikasi Fakultas Teknik dan  
Laboratorium Lapang Terpadu Fakultas Pertanian, Universitas  
Lampung.

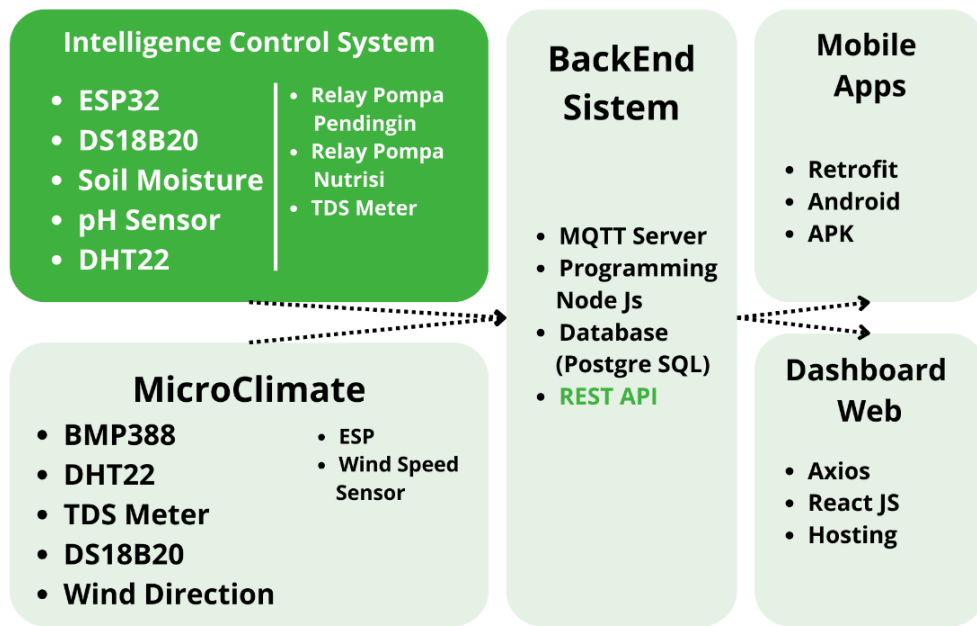
### 3.2. *Capstone Project*

Pengerjaan penelitian ini berkaitan dengan beberapa penelitian lain yang berkolaborasi untuk membangun sistem *Intelligence Controlling System* pada *Smart Greenhouse*. Diagram keseluruhan *project* yang dikerjakan dapat dilihat pada gambar 3.1. Dalam *project* yang akan dikembangkan terdapat beberapa bagian yang akan dikerjakan secara terpisah, mulai dari hardware yang terdiri atas sistem klimatologi micro di dalam *Greenhouse*, kemudian sistem integrasi *IoT Intelligence Control System (ICS)*, *Backend processing*, *mobile apps*, dan *dashboard website*.

Dalam pengerjaan proyek ini, peneliti hanya akan berfokus pada perangkat *ICS* yang merupakan rangkaian *hardware* sensor monitoring dan control, sementara *sub-project front-end*, *Back-end*, dan *Mobile App* sebagai *dashboard* monitoring akan dikerjakan dalam penelitian lain.

Sistem *Intelligence Control System* pada penelitian ini berfungsi sebagai perangkat keras monitoring dan kontrol dari *Smart Greenhouse*, melalui sistem *Intelligence Control System*. Pertanian di dalam *Greenhouse* dapat dimonitoring dan dikontrol secara otomatis.





Gambar 3.1. Diagram Keseluruhan Pengembangan Sistem

### 3.3. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian dan pengembangan sistem ini merupakan elemen-elemen kunci yang mendukung kesuksesan penelitian. Berbagai perangkat keras dan perangkat lunak telah dipilih dengan cermat untuk memastikan integritas dan fungsionalitas sistem yang dikembangkan. Adapun alat-alat yang terlibat dalam rangkaian penelitian ini adalah seperti pada Tabel 3.1:

Tabel 3.1. Alat dan bahan yang digunakan.

No	Nama perangkat	Komponen atau	Keterangan Penggunaan
1	Esp32 Dev Module		Sebagai sistem control utama dalam <i>Greenhouse</i> . Esp32 akan mencatat semua data yang dikirimkan oleh setiap sensor, data tersebut akan menjadi acuan dari setiap keputusan yang akan dibuat. Data tersebut selanjutnya didistribusikan ke

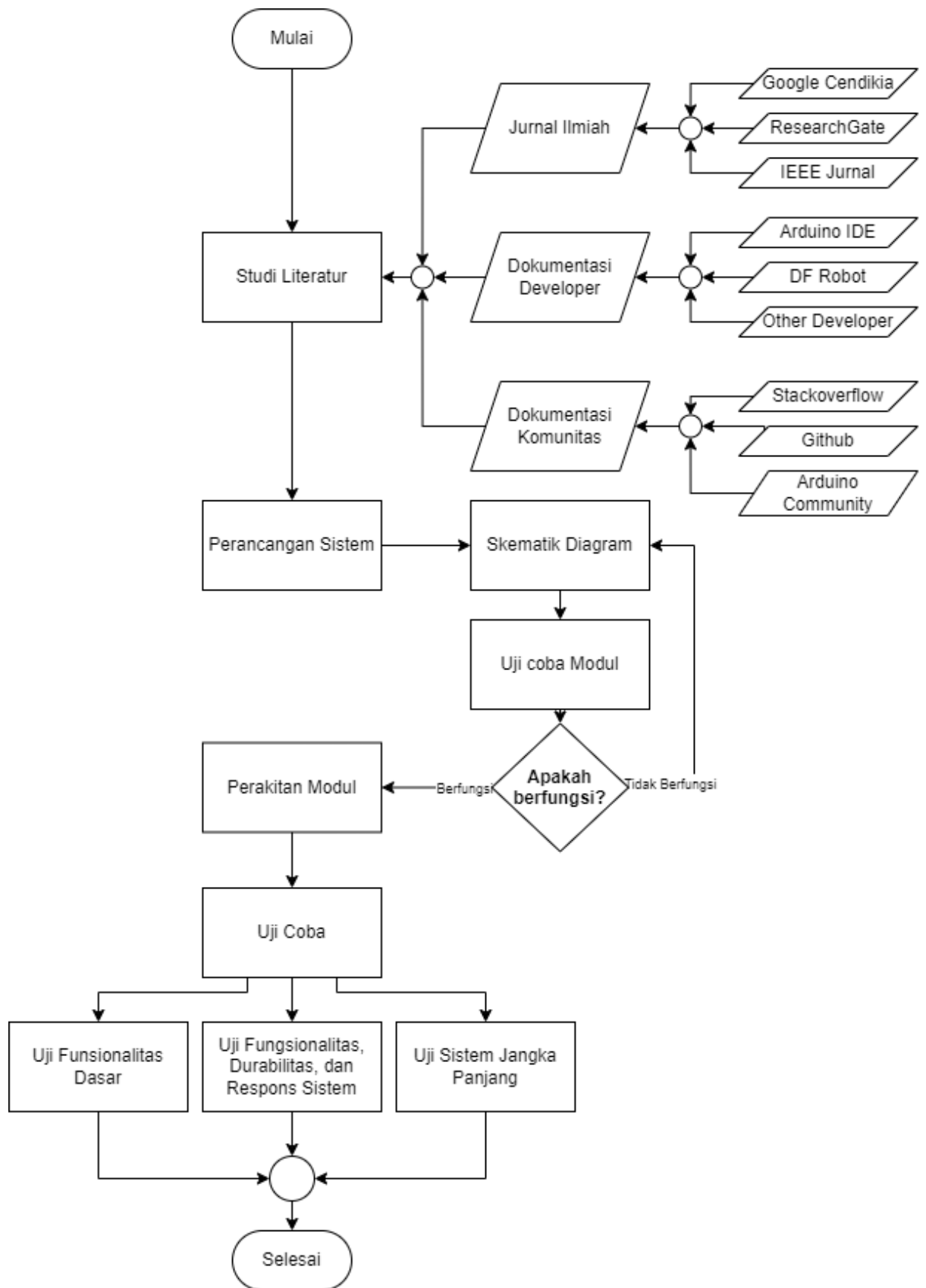
---

		<i>minicomputer</i> melalui komunikasi serial.
2	Sensor <i>Soil Moisture</i>	Sensor <i>Soil Moisture</i> digunakan untuk memonitoring nilai kelembaban dalam tanah.
3	Sensor pH	Sensor pH digunakan untuk memonitoring nilai pH pada air nutrisi yang digunakan
4	Sensor Tds	Sensor TDS digunakan untuk memonitoring nilai TDS yang ada di dalam air nutrisi tanaman
5	Sensor DS18B20	Sensor suhu air digunakan untuk memonitoring suhu air nutrisi tanaman.
6	Relay	Relay digunakan untuk mengendalikan sistem pendinginan, dan sistem nutrisi,
7	<i>Buck Boost Converter</i>	Sebagai komponen untuk <i>Step-down</i> , Tegangan DC yang diterima dari <i>Power Supply</i>
8	<i>Water Jet Pump</i>	Sebagai modul untuk memompa air pendingin dan air nutrisi

---

### 3.4. Tahapan Penelitian

Penelitian ini menitikberatkan pada implementasi *Intelligence Control System (ICS)* dalam konteks *Greenhouse* sebagai upaya mendukung pertanian cerdas. Tahapan pelaksanaan penelitian ini dirancang dengan cermat untuk memastikan integritas dan keberhasilan implementasi sistem kontrol berbasis *Internet of Things (IoT)* pada mikroklimatologi dan nutrisi tanaman di dalam *Greenhouse* seperti pada Gambar 8.



Gambar 3.2. Tahapan Penelitian

### 3.4.1. Studi Literatur

Tahapan awal dari penelitian implementasi *Intelligence Control System (ICS)* pada *Greenhouse* ini mengambil langkah kritis dalam bentuk studi literatur. Studi literatur menjadi fondasi yang penting untuk memahami secara mendalam konsep-konsep yang telah ada terkait dengan implementasi *IoT* dalam pengendalian lingkungan pertanian. Dalam tahap ini, peneliti merinci literatur-literatur terkait teknologi *IoT*, kontrol sistem, dan aplikasinya dalam dunia pertanian, khususnya di dalam *Greenhouse*.

Pemahaman mendalam terhadap teknologi terkini menjadi landasan untuk mengidentifikasi keunggulan dan kelemahan sistem-sistem sebelumnya, serta menentukan inovasi yang dapat diterapkan dalam konteks *ICS* pada *Greenhouse*. Studi literatur juga merambah pada konsep-konsep mikro klimatologi dan nutrisi tanaman *Greenhouse*. Dengan merinci literatur mengenai faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan tanaman, seperti suhu, dan kelembaban, peneliti dapat merancang *ICS* yang responsif terhadap kebutuhan tanaman.

Tahap studi literatur ini tidak hanya menjadi langkah awal, tetapi juga menjadi dasar untuk menyusun kerangka teoritis penelitian. Pemahaman mendalam dari literatur-literatur yang relevan membantu merumuskan pertanyaan penelitian yang tepat, memberikan konteks untuk metodologi yang akan diterapkan, dan memastikan bahwa penelitian ini akan berkontribusi pada perkembangan pengetahuan di bidang implementasi teknologi cerdas dalam pertanian.

### 3.4.2. Perancangan Sistem

Langkah awal melibatkan perancangan sistem secara menyeluruh, dengan menentukan komponen-komponen utama yang akan terlibat dalam *ICS*. Pemilihan sensor-sensor yang memantau kondisi mikro klimatologi, seperti suhu, dan kelembaban, menjadi perhatian utama. Begitu pula dengan sensor yang memonitor nutrisi tanaman, seperti pH dan tingkat kepekatan larutan nutrisi (*TDS*). Pemilihan perangkat keras mikrokontroler yang sesuai juga menjadi bagian krusial pada tahap ini, dengan memastikan ketersediaan daya komputasi dan koneksi yang handal.

### 3.4.2.1. Perancangan *Schematic Diagram Perangkat Intelligence Control System*

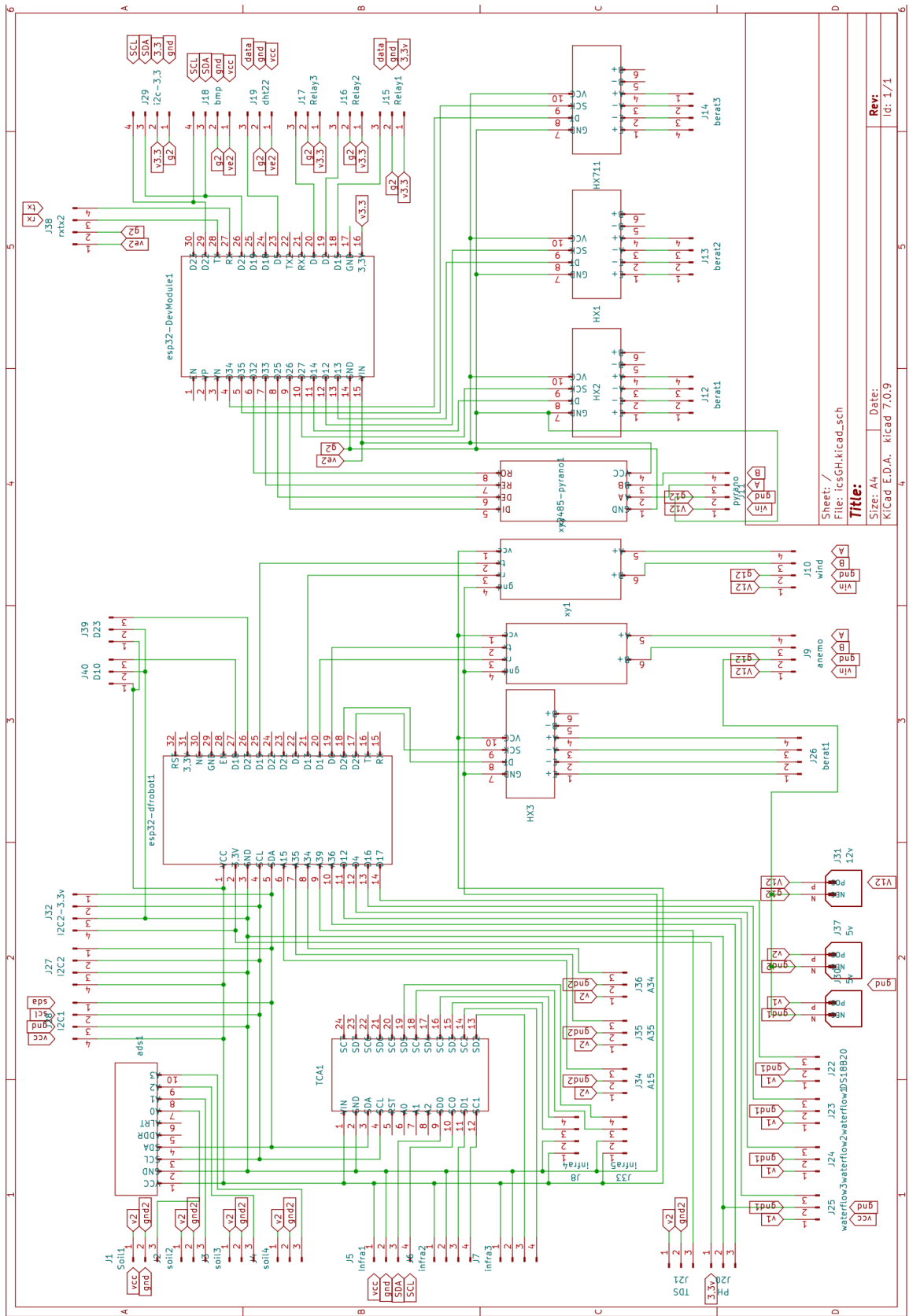
Langkah pertama yang tidak dapat dipisahkan dari proses ini adalah pembuatan *Schematic* diagram. Pembuatan *Schematic* diagram seperti pada Gambar 3.3 merupakan upaya untuk menggambarkan secara rinci struktur dan hubungan antar komponen dalam sistem.

Penggambaran yang teliti pada *Schematic* diagram menjadi landasan untuk penerapan *ICS* secara menyeluruh, menjadikan proses pengendalian mikroklimatologi dan pemberian nutrisi tanaman pada *Greenhouse* dapat berjalan dengan efisien dan terkoordinasi. Tahapan ini menjadi pondasi yang krusial dalam menjalankan penelitian secara sistematis dan terstruktur.

*Schematic* diagram adalah representasi detail dari semua komponen elektronik dalam sistem dan bagaimana sistem terhubung secara elektrik. Diagram ini lebih mendalam dibanding *Wiring* diagram dan digunakan untuk memastikan setiap komponen terhubung dengan benar dan bekerja sesuai fungsinya. Perancangan *Schematic* diagram untuk perangkat *Intelligence Control System* melibatkan penempatan komponen-komponen seperti ESP32, sensor pH, TDS, *Soil Moisture*, modul WiFi, regulator tegangan, dan kapasitor pada skema yang jelas. Setiap sambungan diwakili oleh garis yang menunjukkan koneksi elektrik antara komponen, dengan label untuk memudahkan identifikasi.

Berdasarkan Gambar 3.3. *Schematic Diagram Intelligence Control System* sumber daya dibagi menjadi 3 nilai tegangan, tegangan 3,3V, 5V, dan 12V. Tegangan 3,3V disalurkan menuju sensor pH dan Relay. Tegangan 5V digunakan untuk menjalankan sensor *Soil Moisture*, TDS, DS18B20, DHT22, BMP388, modul ADS1115, modul XY485, dan ESP32. Tegangan 12V disalurkan menuju sensor *Wind Direction*, dan Anemometer.

*Schematic* diagram menjadi panduan yang sangat penting dalam merancang serta merencanakan koneksi-koneksi antar elemen dalam *ICS*. Detail-detail setiap komponen dan perangkat keras yang akan digunakan dijelaskan secara visual melalui diagram ini, memastikan keseluruhan sistem terstruktur dengan baik.



Gambar 3.3. Schematic Diagram Intelligence Control System

Koneksi Antar Pin tertera pada Tabel 3.2. berikut ini,

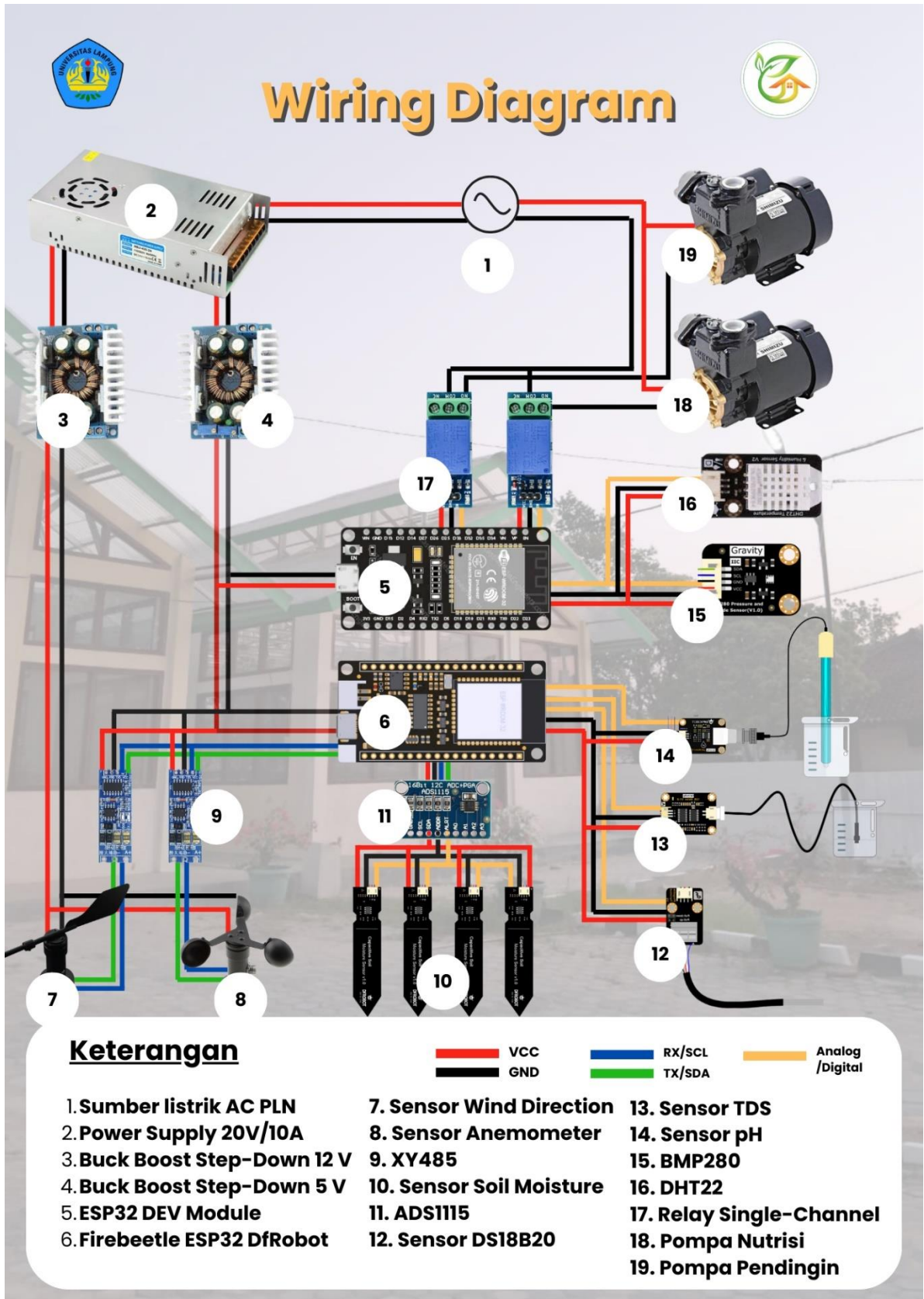
Tabel 3.2. Koneksi *Schematic* Diagram *ICS*

<b>Modul Out</b>	<b>Koneksi Pin</b>	<b>Modul In</b>
<i>Soil Moisture</i>	Channel 0 sampa 3	ADS1115
ADS1115	I2C Pin	FireBeetle Esp32
TDS	GPIO 39 (Analog)	FireBeetle Esp32
Sensor pH	GPIO 36 (Analog)	FireBeetle Esp32
DS18B20	GPIO 18 (Digital)	FireBeetle Esp32
BMP388	I2C Pin	ESP32 DEV Module
DHT22	GPIO 5 (Digital)	ESP32 DEV Module
<i>Waterflow</i> 1	GPIO 16 (Digital)	FireBeetle Esp32
<i>Waterflow</i> 2	GPIO 4 (Digital)	FireBeetle Esp32
<i>Waterflow</i> 3	GPIO 12 (Digital)	FireBeetle Esp3
<i>Waterflow</i> 4	GPIO 23 (Digital)	FireBeetle Esp3
Relay Pompa Pendingin	NO ( <i>Normaly Open</i> )	<i>Water Jet Pump</i>
Relay Pompa Nutrisi	NO ( <i>Normaly Open</i> )	<i>Water Jet Pump</i>
ESP32 DEV Module	GPIO 2 (Digital)	Relay Pompa Nutrisi
ESP32 DEV Module	GPIO 4 (Digital)	Relay Pompa Pendingin

#### 3.4.2.2. Perancangan *Wiring* Diagram Perangkat *Intelligence Control System*

Perancangan *Wiring* diagram merupakan langkah awal dalam pengembangan perangkat *Intelligence Control System*. *Wiring* diagram seperti pada Gambar 3.4. adalah representasi visual dari komponen-komponen dan sambungan-sambungan elektrik dalam sistem. Diagram ini menunjukkan bagaimana komponen seperti sensor, aktuator, mikrokontroler, dan modul komunikasi dihubungkan satu sama lain.

Berdasarkan Gambar 3.4. *Wiring* Diagram *Intelligence Control System* sensor-sensor pH, TDS, dan *Soil Moisture* dihubungkan ke pin analog dari mikrokontroler ESP32. Sensor BMP388, sensor DHT-22, DS18B20, dan Aktuator seperti pompa air atau sistem irigasi dihubungkan ke pin digital yang dikendalikan oleh mikrokontroler berdasarkan data suhu yang diterima dari sensor.



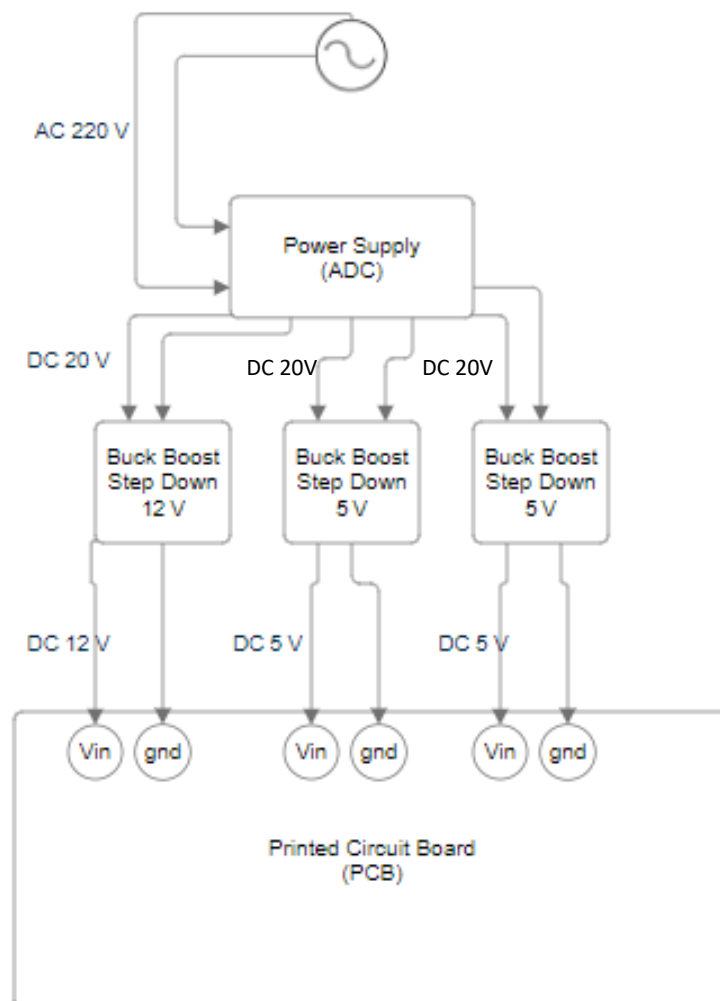
Gambar 3.4. Wiring Diagram Intelligence Control System



Sumber daya utama berasal dari Listrik 220V AC yang dikonversi menjadi DC melalui *Power Supply*, selanjutnya tegangan dan arusnya diturunkan menjadi 5V-1A menggunakan *Buck Boost Stepdown* yang dihubungkan ke ESP32 dan masing-masing sensor. Penggunaan dua buah ESP32 digunakan untuk mengantisipasi interpolasi fungsi sistem klimatologi dan sistem irigasi-fertigasi. Modul WiFi digunakan untuk menghubungkan sistem ke jaringan internet, memungkinkan pengiriman data secara real-time ke *MQTT Server*.

### 3.4.2.3. Perancangan Catu Daya Perangkat *Intelligence Control System*

Perancangan catu daya adalah langkah penting untuk memastikan semua komponen perangkat mendapatkan tegangan dan arus yang diperlukan.

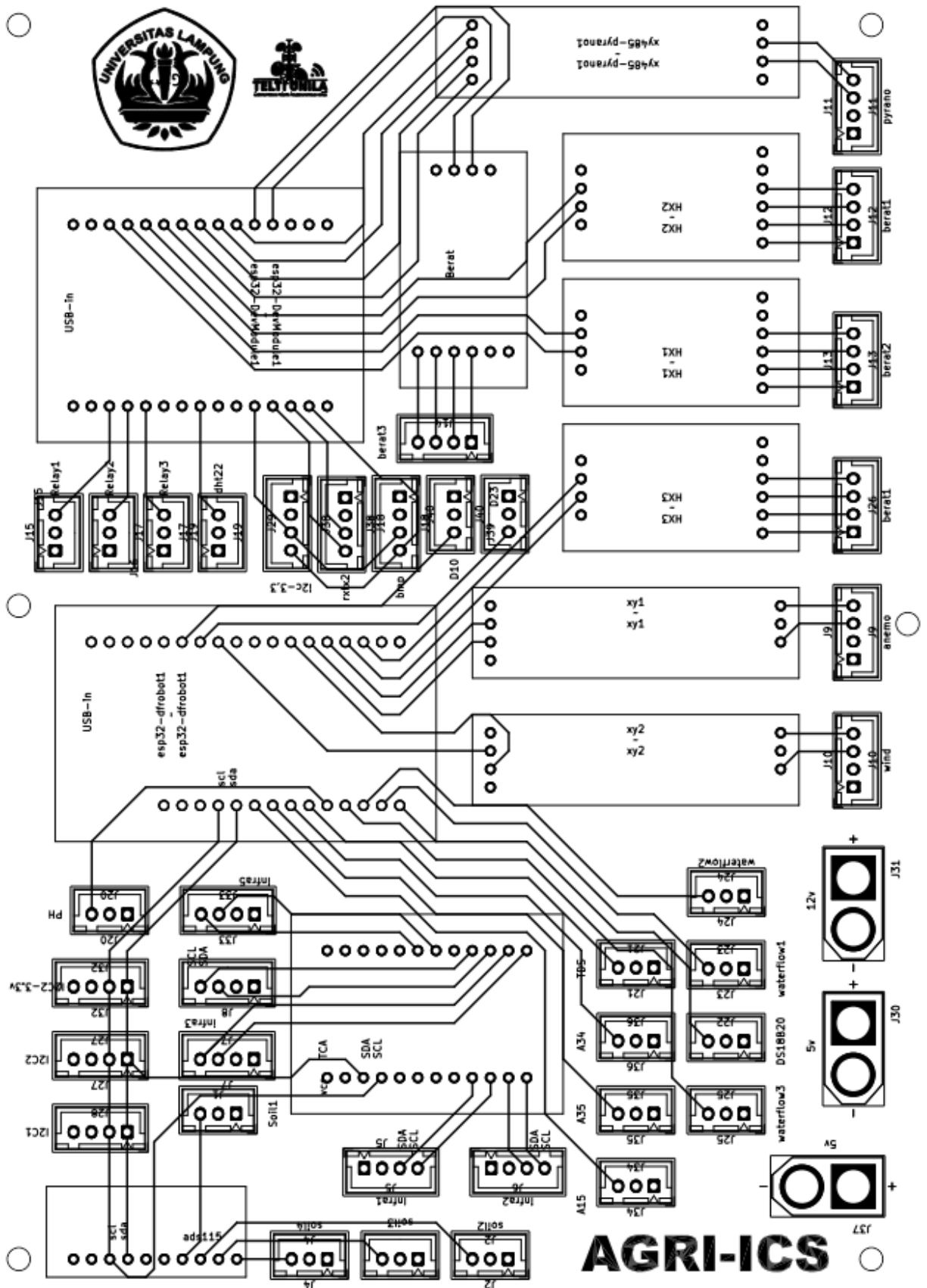


Gambar 3.5. *Schematic Diagram* Catu Daya

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 sebelum tegangan disambungkan ke PCB. Penggunaan lebih dari satu konverter *buck-boost* pada sistem ics diperuntukan untuk meningkatkan keamanan dan keandalan sistem. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sergejs Tjukovs, Daniils Surmacs, Juris Grizans, Chukwuma Victor Iheanacho, dan Dmitrijs Pikulins pada penelitian berjudul “*Implementation of Buck DC-DC Converter as Built-In Chaos Generator for Secure IoT*” mengungkapkan bahwa Penggunaan beberapa konverter *buck-boost* dalam sistem IoT dapat meningkatkan keandalan dan keamanan, terutama dalam skenario di mana satu konverter mungkin gagal karena masalah seperti korsleting [42].

#### **3.4.2.4. Perancangan PCB *Intelligence Control System***

Perancangan *PCB (Printed Circuit Board)* adalah langkah penting dalam pengembangan perangkat keras untuk sistem kontrol cerdas. *PCB* adalah papan sirkuit cetak yang digunakan untuk menghubungkan komponen elektronik dengan jalur konduktif yang terpatris di atas papan. Perancangan *PCB* melibatkan pembuatan layout yang menempatkan semua komponen pada posisi yang optimal untuk mengurangi interferensi elektromagnetik dan meningkatkan efisiensi. Layout *PCB* harus mempertimbangkan aliran arus dan distribusi tegangan agar perangkat berfungsi dengan baik. *Software EDA (Electronic Design Automation)* seperti KiCad digunakan untuk merancang dan mensimulasikan *PCB* sebelum diproduksi. Rancangan papan sirkuit pada Gambar 4.3 dengan dimensi 182,88 mm x 129,54mm dirancang dengan tujuan utama untuk memudahkan proses produksi alat *Intelligence Control System*. Dimensi yang telah ditentukan memperlihatkan perhatian terhadap efisiensi dan kemudahan perakitan alat. Rancangan ini masih dalam bentuk prototype dengan fokus pada kemudahan pemasangan komponen (*plug and play*), sehingga mempercepat proses perakitan alat.



Gambar 3.6. Perancangan PCB Intelligence Control System

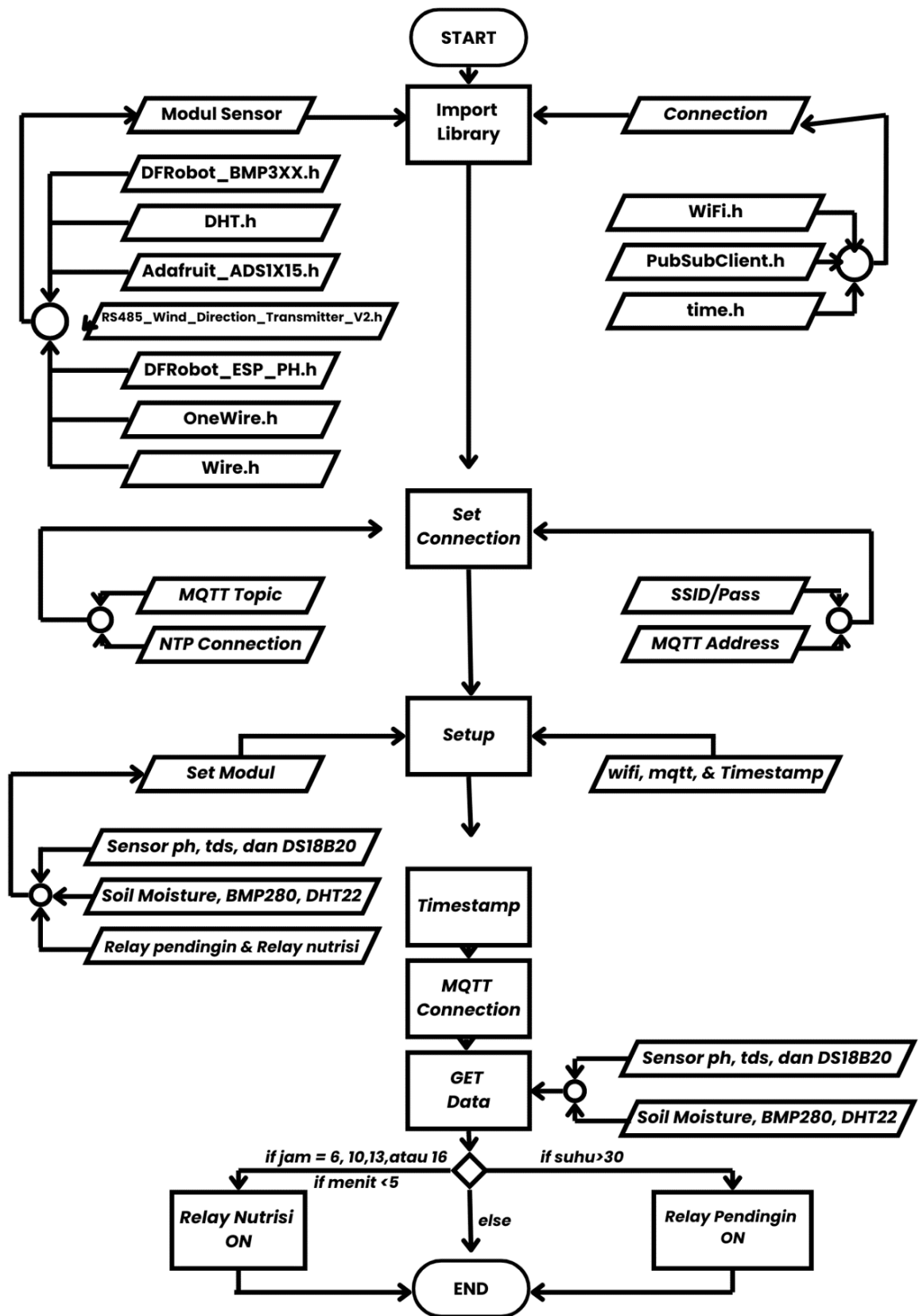
Spesifikasi detail terkait papan sirkuit yang digunakan tercantum pada Tabel 3.3. berikut,

Tabel 3.3. Spesifikasi *PCB Intelligence Control System*

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

#### **3.4.2.5. Perancangan Alur Program *Intelligence Control System***

Perancangan alur program adalah proses menentukan bagaimana perangkat lunak akan berjalan untuk mengendalikan perangkat keras dan mengelola data. Alur program ini melibatkan penulisan kode yang mengatur bagaimana sensor membaca data, bagaimana data diproses dan dianalisis, serta bagaimana hasilnya digunakan untuk mengendalikan aktuator atau dikirim ke *cloud*. Program untuk perangkat *Intelligence Control System* ditulis menggunakan bahasa pemrograman seperti C++ dan menggunakan platform seperti Arduino IDE atau PlatformIO. Alur program melibatkan inisialisasi perangkat keras, pembacaan data dari sensor, pengolahan data, pengendalian aktuator, dan komunikasi dengan *server cloud* untuk penyimpanan data dan pemantauan jarak jauh. Dengan perancangan yang komprehensif ini, diharapkan perangkat *Intelligence Control System* dapat beroperasi dengan efektif dan efisien dalam memantau dan mengelola kondisi lingkungan.



Gambar 3.7. Flow Chart Sistem Intelligence Control System

### 3.4.2.6. Skenario Akuisisi Data

Skenario Akuisisi data ini dilakukan dengan bantuan *node-red* sebagai framework komunikasi. Data yang berhasil tercatat oleh microcontroller setiap dua detik selanjutnya dikirimkan ke Raspberrypi sebagai data *logger* melalui komunikasi Serial, komunikasi ini memungkinkan raspberrypi membaca dan menampilkan serial monitor dari mikrokontroller, Data yang tertampil pada serial monitor selanjutnya diberikan *function* untuk mengambil nilai float atau tipe datanya saja tanpa mengambil nama variabelnya. Selanjutnya data yang telah diambil diberi nilai *variable* untuk menentukan parameter dari setiap data, setelah setiap parameter data selesai data Kembali disatukan dalam bentuk paket data JSON yang dikirimkan secara parallel menuju *server* MQTT dan disimpan dalam bentuk file csv secara *real-time*. Berikut adalah formula untuk menghitung jumlah akuisisi data seharusnya dengan memperhatikan bahwa data diakuisisi setiap dua detik.

$$\text{Jumlah Data Akuisisi} = \frac{60^2 \times 24 \times x}{2}$$

Keterangan:

x : Jumlah Hari dalam satu Bulan

Sehingga berdasarkan scenario akuisisi data ini diharapkan data yang berhasil diakuisisi dalam tiga bulan terhitung dari bulan Maret, April, dan Mei adalah seperti pada tabel 3.4. berikut ini.

Tabel 3.4. Skenario Akuisisi Data

BULAN	JUMLAH DATA YANG DIAKUISISI
Maret	1.339.200
April	1.296.000
Mei	1.339.200

### **3.4.3. Pemasangan Setiap Modul**

Setelah perancangan, langkah selanjutnya melibatkan implementasi fisik dari komponen-komponen yang telah direncanakan. Pemasangan sensor-sensor pada titik strategis di dalam *Greenhouse* dan pengintegrasian mikrokontroler menjadi fokus pada tahap ini. Aspek konektivitas dan jaringan *IoT* juga diimplementasikan dengan seksama, memastikan bahwa setiap komponen dapat berkomunikasi secara efisien.

### **3.4.4. Uji Coba**

Tahap uji coba merupakan momen kritis dalam memastikan keberfungsian. Dalam penelitian ini, *ICS (Intelligence Control System)* diuji selama periode yang berbeda untuk memvalidasi fungsionalitasnya secara menyeluruh. Adapun tahapan pengujian meliputi:

#### **1. Uji Fungsionalitas Dasar**

Uji Fungsionalitas Dasar mengacu pada fungsionalitas setiap modul yang digunakan. Uji coba ini dilakukan untuk memastikan setiap modul bekerja. Uji coba fungsionalitas dasar ini dilaksanakan selama 24x3 hari guna memastikan setiap komponen dan modul bekerja dengan baik.

#### **2. Uji Fungsionalitas, Durabilitas, dan Respons Sistem**

Uji coba fungsionalitas, durabilitas, dan respons sistem mengacu pada respons sistem terhadap variasi mikroklimatologi serta nutrisi tanaman. Ujicoba ini dilaksanakan dalam waktu 24x7 hari.

#### **3. Uji Fungsionalitas, Durabilitas, Dan Reliabilitas Sistem Jangka Panjang.**

Uji coba ini mengacu pada ketahanan fungsi jangka panjang dimana waktu pelaksanaan uji ini adalah 24x30 hari.

Seluruh proses pelaksanaan penelitian ini didasarkan pada pendekatan ilmiah yang teliti dan metode eksperimen yang terkontrol. Diharapkan bahwa melalui tahapan-tahapan ini, penelitian dapat memberikan kontribusi signifikan dalam

pengembangan sistem kontrol cerdas untuk mendukung pertanian berkelanjutan di lingkungan *Greenhouse*.

### **3.4.5. Indikator Keberhasilan**

#### **3.1.Keberhasilan Uji Fungsionalitas Dasar (24x3 hari)**

Semua modul dalam *Intelligence Control System* berhasil diuji dan berfungsi dengan baik selama periode 24x3 hari. Tidak ada kegagalan sistem dasar yang signifikan selama periode uji coba.

#### **3.2.Keberhasilan Uji Fungsionalitas, Durabilitas, dan Respons Sistem (24x7 hari)**

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.

#### **3.3.Keberhasilan Uji Fungsionalitas, Durabilitas, dan Reliabilitas Sistem Jangka Panjang (24x30 hari)**

Sistem menunjukkan ketahanan fungsi yang optimal selama periode 24x30 hari. Tidak terjadi penurunan signifikan dalam performa sistem seiring berjalannya waktu.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa *Intelligence Control System* (ICS) berhasil memenuhi semua indikator keberhasilan yang telah ditetapkan. Pada uji fungsionalitas dasar selama 24x3 hari, seluruh modul sistem berfungsi dengan baik tanpa adanya kegagalan signifikan. Selanjutnya, pada pengujian fungsionalitas, durabilitas, dan respons sistem selama 24x7 hari, ICS mampu memberikan respons yang efektif terhadap variasi mikroklimatologi dan perubahan nutrisi tanaman, yang semakin mengukuhkan performa dan keandalannya. Pada pengujian jangka panjang selama 24x30 hari, ICS membuktikan ketahanannya dengan mempertahankan fungsi yang optimal tanpa penurunan kinerja yang signifikan. Keberhasilan ini menegaskan bahwa sistem siap untuk diterapkan secara praktis dalam pengelolaan lingkungan dan nutrisi tanaman secara efisien.



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian dengan judul "Implementasi *Intelligence Control System* pada *Greenhouse*", didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Implementasi teknologi *intelligence control system* dalam *smart greenhouse* telah berhasil menciptakan lingkungan yang optimal untuk pertumbuhan tanaman hortikultura. Pengendalian mikro klimatologi, seperti suhu, dan kelembaban, serta pemantauan dan penyesuaian nutrisi tanaman secara *real-time*. Implementasi *ICS* mampu menurunkan suhu secara signifikan dari. Penurunan suhu ini menunjukkan sistem pengendalian suhu ruang di *greenhouse* telah berhasil secara *responsive* dan efektif mengendalikan suhu yang ada. Terhitung suhu dapat diturunkan dari  $>35$  °C sampai ke angka  $< 33$  °C. Berdasarkan data yang telah diakuisisi dapat dilihat juga *intelligence control system* secara *responsive* mengaktifkan sistem pengairan nutrisi pada tanaman sesuai dengan waktu yang dijadwalkan. Data menunjukkan adanya peningkatan stabilitas kondisi lingkungan dan *supply* nutrisi di dalam *greenhouse*, yang berkontribusi pada pertumbuhan tanaman yang lebih sehat dan produktif.
2. Berdasarkan implementasi *intelligence control system* pada *greenhouse* yang telah dilaksanakan selama tiga bulan terhitung dari bulan maret sampai dengan Mei 2024 data semua parameter diakuisisi setiap dua detik. Total data yang telah diakuisisi sebanyak 3.392.133 baris data. Berdasarkan analisis data per parameter ukur didapatkan persentase data valid pada parameter pH, TDS, dan *Soil Moisture*, Suhu air, Suhu (BMP388), Kelembaban udara, Suhu (DHT22), Sistem Nutrisi, dan Sistem Pendingin menghasilkan persentase pengumpulan data valid sebesar 84,28%. Sehingga sistem ini berhasil melakukan pemantauan dan kontrol jarak jauh serta mendukung konsep pertanian berkelanjutan dengan efisiensi sumber daya dan pengurangan dampak lingkungan.

## 5.2. Saran

Setelah melakukan penelitian tentang "Implementasi *Intelligence Control System* pada *Greenhouse*", beberapa saran diberikan sebagai berikut:

1. Pengembangan lebih lanjut pada sistem pendinginan mist *nozzle* dapat dilakukan dengan menambahkan sistem pendinginan tambahan seperti, *blower*, sistem rak kipas, pinion, pendingin sudut, evaporator, dan *drum fan*. sehingga efisiensi pendinginan dapat meningkat.
2. Dalam rangka meningkatkan efisiensi sistem distribusi nutrisi, dapat dilakukan penyempurnaan desain selang *dripper* menjadi *close loop* untuk memastikan distribusi yang lebih merata dan mengurangi kemungkinan tersumbatnya saluran.
3. Penggunaan teknologi IoT yang lebih canggih dan algoritma *machine learning* untuk prediksi dan optimasi kondisi lingkungan dapat menjadi fokus penelitian selanjutnya, guna meningkatkan efektivitas sistem kontrol *greenhouse* bila sudah memiliki datasheet yang memadai.
4. Studi lebih lanjut mengenai dampak jangka panjang dari teknologi yang diterapkan terhadap berbagai jenis tanaman sangat disarankan. Hal ini akan memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang manfaat dan potensi pengembangan teknologi ini di masa depan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPS-Indonesia, Statistik Hortikultura Tahun 2022, BPS-RI, Jakarta, Indonesia, 2023. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/id/publication/2023/06/09/03847c5743d8b6cd3f08ab76/statistik-hortikultura-2022.html> . [Accessed: Jan. 3, 2024].
- [2] O. Calicioglu, A. Flammini, S. Bracco, L. Bellù, and R. Sims, “*The Future Challenges of Food and Agriculture: An Integrated Analysis of Trends and Solutions*,” *Sustainability*, vol. 11, no. 1, p. 222, Jan. 2019, doi: <https://doi.org/10.3390/su11010222>.
- [3] G. V. Fedotova, I. S. Larionova, M. S. Maramygin, Y. I. Sigidov, B. K. Bolaev, and N. N. Kulikova, “*Agriculture 4.0. as a New Vector towards Increasing the Food Security in Russia*,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 677, p. 032016, 2021.
- [4] R. Abbasi, P. Martinez, and R. Ahmad, “The Digitization of Agricultural Industry—A Systematic Literature Review on Agriculture 4.0,” *Smart Agric. Technol.*, vol. 2, p. 100042, 2022.
- [5] T. Ben Hassen and H. El Bilali, “Impacts of the Russia-Ukraine War on Global Food Security: Towards More Sustainable and Resilient Food Systems,” *Foods*, vol. 11, p. 2301, 2022.
- [6] H. X. Huynh, L. N. Tran, and N. Duong-Trung, “Smart Greenhouse construction and irrigation control system for optimal Brassica Juncea development,” *PLOS ONE*, vol. 18, no. 10, p. e0292971, 2023.
- [7] A. Rokade and M. Singh, “Smart farming System Based on IoT for Precision Controlled Greenhouse Management,” in *Computational Intelligence: Select Proceedings of InCITe 2022*, Singapore: Springer Nature Singapore, 2023, pp. 435-443.
- [8] A. I. Rokade, A. D. Kadu, and K. S. Belsare, “An Autonomous Smart farming System for Computational Data Analytics using IoT,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2327, p. 012019, Aug. 2022.

- [9] M. T. Sohail, S. Mustafa, M. M. Ali, and S. Riaz, "Agricultural Communities' Risk Assessment and the Effects of Climate Change: A Pathway Toward Green Productivity and Sustainable Development," *Frontiers in Environmental Science*, vol. 10, Jul. 2022, doi: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.948016>.
- [10] D. Ozdemir, "The impact of climate change on agricultural productivity in Asian countries: a heterogeneous panel data approach," *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, pp. 1-13.
- [11] P. C. V. and U. S., "IoT Based Site Specific Nutrient Management System for Soil Health Monitoring," 2022.
- [12] M. K. Senapaty, A. Ray, and N. Padhy, "IoT-Enabled Soil Nutrient Analysis and Crop Recommendation Model for Precision Agriculture," *Computers*, vol. 12, no. 3, p. 61, Mar. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/computers12030061>.
- [13] H. X. Huynh, L. N. Tran, and N. Duong-Trung, "Smart Greenhouse construction and irrigation control system for optimal Brassica Juncea development," *PLOS ONE*, vol. 18, no. 10, p. e0292971, 2023.
- [14] 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, doi: <https://doi.org/10.34010/telekontran.v7i2.2277>.
- [15] R. K. M. Math and N. V. Dharwadkar, "IoT Based Low-cost Weather Station and Monitoring System for Precision Agriculture in India," 2018.
- [16] S. Hemming, F. de Zwart, A. Elings, A. Petropoulou, and I. Righini, "Cherry Tomato Production in Intelligent Greenhouses—Sensors and AI for Control of Climate, Irrigation, Crop Yield, and Quality," *Sensors*, vol. 20, no. 22, p. 6430, Nov. 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/s20226430>.
- [17] A. Castañeda-Miranda and V. M. Castaño-Meneses, "Internet of things for Smart farming and frost intelligent control in Greenhouses," *Computers and*

- Electronics in Agriculture*, vol. 176, p. 105614, Sep. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105614>.
- [18] M. Javaid, A. Haleem, R. P. Singh, and R. Suman, “Enhancing Smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies,” *International Journal of Intelligent Networks*, vol. 3, pp. 150–164, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijin.2022.09.004>.
- [19] E. M. B. M. Karunathilake, A. T. Le, S. Heo, Y. S. Chung, and S. Mansoor, “The path to Smart farming: Innovations and opportunities in precision agriculture,” *Agriculture*, vol. 13, no. 8, p. 1593, 2023.
- [20] K. Phasinam, T. Kassanuk, and M. Shabaz, “Applicability of Internet of Things in Smart Farming,” *Journal of Food Quality*, vol. 2022, pp. 1–7, Feb. 2022, doi: <https://doi.org/10.1155/2022/7692922>.
- [21] M. Dhanaraju, P. Chenniappan, K. Ramalingam, S. Pazhanivelan, and R. Kaliaperumal, “Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture,” *Agriculture*, vol. 12, no. 10, p. 1745, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture12101745>.
- [22] P. Abdul Hafeez, G. Singh, J. Singh, C. Prabha, and A. Verma, “IoT in Agriculture and Healthcare: Applications and Challenges,” Oct. 01, 2022.
- [23] M. S. Farooq, O. O. Sohail, A. Abid, and S. Rasheed, “A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of *Smart* Livestock Environment,” pp. 1–1, 2022, doi: <https://doi.org/10.1109/access.2022.3142848>.
- [24] D. Hercog, T. Lerher, M. Truntič, and O. Težak, “Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices,” *Sensors*, vol. 23, no. 15, p. 6739, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/s23156739>.
- [25] G. P. Pereira, Mohamed Zied Chaari, and Fawwad Daroge, “IoT-Enabled *Smart* Drip Irrigation System Using ESP32,” *Iot*, vol. 4, no. 3, pp. 221–243, Jul. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/iot4030012>.

- [26] M. Al-Mashhadani and M. Shujaa, "IoT Security Using AES Encryption Technology based ESP32 Platform," *The International Arab Journal of Information Technology*, vol. 19, no. 2, 2022.
- [27] V. Barral Vales, O. C. Fernández, T. Domínguez-Bolaño, C. J. Escudero, and J. A. García-Naya, "Fine Time Measurement for the Internet of Things: A Practical Approach Using ESP32," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, no. 19, pp. 18305–18318, Oct. 2022.
- [28] I. Ragazzini et al., "A resistive sensor for humidity detection based on cellulose/polyaniline," *RSC Advances*, vol. 12, no. 43, pp. 28217–28226, 2022, doi: <https://doi.org/10.1039/d2ra03982f>.
- [29] W. Adhiwibowo, A. F. Daru, and A. M. Hirzan, "Temperature and Humidity Monitoring Using DHT22 Sensor and Cayenne API," *Jurnal Transformatika*, vol. 17, no. 2, p. 209, Jan. 2020.
- [30] Z. Chang, F. Zhang, J. Xiong, J. Ma, B. Jin, and D. Zhang, "Sensor-free *Soil Moisture* Sensing Using LoRa Signals," *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, vol. 6, no. 2, pp. 1–27, Jul. 2022, doi: <https://doi.org/10.1145/3534608>.
- [31] C. Briciu-Burghina, J. Zhou, M. I. Ali, and F. Regan, "Demonstrating the Potential of a Low-Cost *Soil Moisture* Sensor Network," *Sensors*, vol. 22, no. 3, p. 987, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/s22030987>.
- [32] M. Pramanik et al., "Automation of *Soil Moisture* sensor-based basin irrigation system," *Smart Agricultural Technology*, vol. 2, p. 100032, Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2021.100032>.
- [33] B. Li et al., "Accuracy calibration and evaluation of capacitance-based *Soil Moisture* sensors for a variety of *soil* properties," *Agricultural Water Management*, vol. 273, p. 107913, Nov. 2022.
- [34] H. Yin, Y. Cao, B. Marelli, X. Zeng, A. J. Mason, and C. Cao, "*Smart Agriculture Systems: Soil Sensors and Plant Wearables for Smart and*

- Precision Agriculture (Adv. Mater. 20/2021),” *Advanced Materials*, vol. 33, no. 20, p. 2170156, May 2021, doi: <https://doi.org/10.1002/adma.202170156>.
- [35] A. P. Atmaja, A. El Hakim, A. P. A. Wibowo, and L. A. Pratama, “Communication Systems of *Smart* Agriculture Based on *Wireless* Sensor Networks in IoT,” *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 2, no. 4, 2021, doi: <https://doi.org/10.18196/jrc.2495>.
- [36] P. Rekha, K. Sumathi, S. Samyuktha, A. Saranya, G. Tharunya, and R. Prabha, “Sensor Based Waste Water Monitoring for Agriculture Using IoT,” 2020 6th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS), Mar. 2020.
- [37] H. Andrianto, Suhardi, and A. Faizal, “Development of *Smart Greenhouse* System for Hydroponic Agriculture,”. Oct. 01, 2020. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9264917>
- [38] K. N. Bhanu, H. S. Mahadevaswamy, and H. J. Jasmine, “IoT based *Smart* System for Enhanced Irrigation in Agriculture,”. Jul. 01, 2020. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9156026>
- [39] C. Bersani, M. Fossa, A. Priarone, R. Sacile, and E. Zero, “Model Predictive Control versus Traditional Relay Control in a High Energy Efficiency *Greenhouse*,” *Energies*, vol. 14, no. 11, p. 3353, Jun. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/en14113353>.
- [40] M. Kumar et al., “Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seed: A review on bioactives and biomedical activities,” *Biomedicine & Pharmacotherapy*, vol. 142, p. 112018, Oct. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.112018>
- [41] M. Alsamir, T. Mahmood, R. Trethowan, and N. Ahmad, “An overview of heat stress in tomato (*Solanum lycopersicum* L.),” *Saudi Journal of Biological Sciences*, vol. 28, no. 3, pp. 1654–1663, Mar. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.11.088>.

- [42] S. Tjukovs, D. Surmacs, J. Grizans, C. V. Iheanacho, and D. Pikulins. “Implementation of Buck DC-DC Converter as Built-In Chaos Generator for Secure IoT”. *Electronics* 2024, 13, 20.
- [43] G. Pascual, D. Sano, T. Sakamaki, M. Akiba, and O. Nishimura, “The water temperature changes the effect of pH on copper toxicity to the green microalgae *Raphidocelis subcapitata*,” *Chemosphere*, p. 133110, Nov. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133110>.
- [44] G. Anuroop, W. Tim, A. Maia, and G. Jyotheesh. “Detecting Sensor Faults, Anomalies and Outliers in the Internet of Things: A Survey on the Challenges and Solutions”. In *Proceedings of the SAI Intelligent Systems Conference*, London, UK, 21–22 September 2020.
- [45] Q. Xie, J. Li, and Y. Zhao, “Effects of Air Temperature and Precipitation on Soil Moisture on the Qinghai-Tibet Plateau during the 2015 Gbarising Season,” *Advances in Meteorology*, vol. 2020, pp. 1–10, Aug. 2020, doi: <https://doi.org/10.1155/2020/4918945>.