

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN PENGENDALI
SUHU SERTA KELEMBABAN TANAH PADA *GREENHOUSE* BERBASIS
NODEMCU ESP32 UNTUK TUMBUHAN BAYAM**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan Pendidikan Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi



Oleh:

Rafi Tulus Ardiansah

40040320650083

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI REKAYASA OTOMASI
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2025**

HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN PENGENDALI SUHU SERTA KELEMBABAN TANAH PADA *GREENHOUSE* BERBASIS NODEMCU ESP32 UNTUK TUMBUHAN BAYAM

Diajukan Oleh:

Rafi Tulus Ardiansah

40040320650083

TELAH DISETUJUI DAN DITERIMA BAIK OLEH

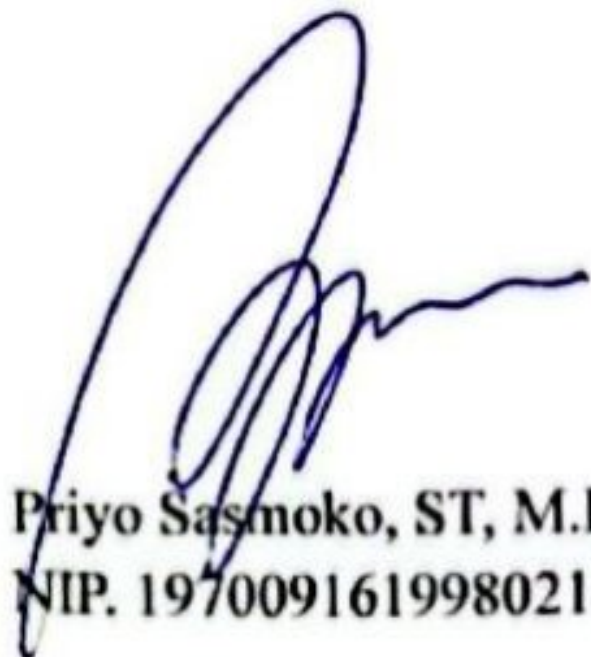
DOSEN PEMBIMBING



Ahmad Ridlo Hanfudin Tahier S.Si., M.Si
NIP 199504152022041001

9 September 2025

Mengetahui
Ketua
Program Studi S.Tr Teknologi Rekayasa Otomasi
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro



Priyo Sasmoko, ST, M.Eng
NIP. 197009161998021001

9 September 2025

HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN PENGENDALI SUHU SERTA KELEMBABAN TANAH PADA *GREENHOUSE* BERBASIS NODEMCU ESP32 UNTUK TUMBUHAN BAYAM

Disusun Oleh :

Rafi Tulus Ardiansah

40040320650083

Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji pada tanggal

Tim Penguji,

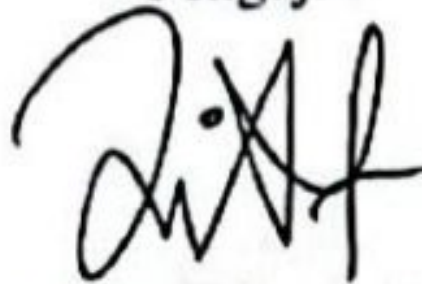
Pembimbing



Ahmad Ridlo Hanifudin Tahier S.Si., M.Si

NIP 199504152022041001

Penguji 1



Aulia Istiqomah, S.ST., M.T.

NIP. 199306122024062002

Penguji 2



Rofiq Cahyo Prayogo, S.T., M.T.

NIP. 199505292024061001

Mengetahui,

Ketua Program Prodi S.Tr.Teknologi Rekayasa Otomasi

Departemen Teknologi Industri

Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro



Priyo Sasnoko, ST, M.Eng

NIP. 197009161998021001

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Rafi Tulus Ardiansah

NIM : 40040320650083

Program Studi : Teknologi Rekayasa Otomasi

Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Monitoring Dan Pengendali
Suhu Serta Kelembaban Tanah Pada *Greenhouse* Berbasis
NodeMCU ESP32 Untuk Tumbuhan Bayam

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh derajat keahlian di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ini ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti plagiat dalam tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan Mendiknas RI No. 17 Tahun 2010 dan Peraturan Perundang-undangan yang berlaku.

Semarang, 9 September 2025

Penulis

Rafi Tulus Ardiansah

KATA PENGANTAR

Puji beserta syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT tuhan semesta alam. Karena berkat, rahmat, hidayah, dan ridhlo-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Pengendali Suhu Serta Kelembaban pada *Greenhouse* berbasis NodeMCU ESP32 untuk Tumbuhan Bayam” yang menjadi salah satu syarat dalam menyelesaikan Pendidikan Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi di Universitas Diponegoro.

Penulis menyadari bahwa berbagai kesulitan dan rintangan dalam penulisan Laporan Tugas Akhir ini tidak dapat dilewati tanpa adanya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin memberikan ucapan terima kasih atas segala dukungan yang diberikan kepada penulis. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada :

1. Orang Tua dan Adik penulis selaku keluarga penulis, khususnya kedua Orang Tua penulis yang tak pernah ada bosannya untuk selalu memberikan doa, kasih sayang, dukungan, materi, dan bantuan tak ternilai lainnya sehingga penulis bisa mencapai titik ini. Semoga Bapak dan Ibu selalu diberikan kesehatan, bahagia, dan semua berkah yang diberikan dapat dibalas oleh Allah SWT dengan cara sebaik-baiknya.
2. Prof Dr. Ir. Budiyo, M.Si., selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
3. Bapak Priyo Sasmoko, S.T., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi
4. Bapak Ahmad Ridlo Hanifudin Tahier S.Si., M.Si, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir atas waktu, kesempatan, dan arahan yang sudah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir.
5. Rekan rekan mahasiswa Teknologi Rekayasa Otomasi angkatan 20 yaitu Quatro, yang saling memberikan semangat, dukungan, dan informasi mengenai Tugas Akhir kepada penulis.

6. Frima Maulana Iqbal, Emmanuel Wattimena, Gilang Muhammad Fajar, Fadhlán Fatah Hidayat, Azmi Aldi Syahrial dan Didik selaku teman ngopi dan bertukar cerita penulis yang seringkali memberikan ledakan sehingga membuat penulis semakin termotivasi untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Nona pemilik NIM 2401382. seseorang yang penting kehadirannya. Terima kasih selalu menemani, mendengarkan keluh kesah, memberikan semangat, dukungan, tenaga, dan senantiasa sabar menghadapi sikap penulis. Terima kasih telah menjadi rumah yang tidak hanya berupa tanah dan bangunan. Terimakasih telah menjadi bagian penting dalam perjalanan penyusunan penulis hingga penulis bisa sampai pada titik ini. Semoga Allah SWT selalu memberi keberkahan dalam segala hal yang kita lalui.
8. Kepada alm. Taufan Bayu Aji dan keluarga, selaku adik dari Bapak penulis. Terimakasih atas segala bantuan dan pelajaran yang pernah diberikan. Jasa beliau akan selalu abadi. Semoga Allah SWT membalas kebaikan dengan cara sebaik-baiknya.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik.
10. Last but not least, Rafi Tulus Ardiansah. Apresiasi sebesar-besarnya karena telah bertanggung jawab untuk menyelesaikan apa yang telah dimulai. Terima kasih karena terus berusaha dan tidak mudah menyerah, serta senantiasa menikmati proses yang tidak mudah ini. Terima kasih sudah bertahan. Berbahagialah selalu dimanapun.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	i
HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Tugas Akhir.....	5
1.4 Manfaat Tugas Akhir	6
1.5 Pembatasan Masalah.....	6
BAB II DASAR TEORI	8
2.1 Kajian Pustaka	8
2.2 Bayam	9
2.3 <i>Greenhouse</i> (Rumah Kaca)	10
2.4 <i>Internet of Things</i> (IoT)	11
2.5 Sensor Jarak VL53L0X	12
2.6 Node-RED	13
2.7 Arduino IDE.....	14
2.8 NodeMCU ESP32.....	15
2.9 Relay.....	16
2.10MQTT.....	18
2.11 Sensor DHT11.....	19
2.12Sensor Capacitive Soil Moisture v1.2	20
2.13Water Pump	22
2.14Nozzle Misting	23
BAB III METODE PENELITIAN.....	24
3.1 Diagram Blok	24

3.2	FlowChart.....	26
3.3	Desain Rangkaian Elektrikal.....	28
3.4	Desain 3D Perancangan Alat.....	29
BAB IV	PEMBAHASAN	31
4.1	Hasil Pengujian	31
4.2	Pengujian Sensor <i>DHT</i>	31
4.3	Pengujian Sensor Soil Moisture.....	33
4.4	Pengujian Sensor <i>VL53L0X</i>	37
4.5	Pengujian Pada Relay	40
4.6	Pengujian Alat Keseluruhan.....	44
	DAFTAR PUSTAKA.....	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bayam	9
Gambar 2. 2 <i>Greenhouse</i> Effect.....	11
Gambar 2. 3 Tiga Elemen Pada Konsep IoT	12
Gambar 2. 4 VL53L0X v2	12
Gambar 2. 5 Flow didalam lingkungan pengembangan Node-RED	13
Gambar 2. 6 Tampilan antarmuka Arduino IDE	14
Gambar 2. 7 Node MCU ESP32	15
Gambar 2. 8 Pin Out NodeMCU ESP32	15
Gambar 2. 9 Skematik Esp32.....	16
Gambar 2. 10 Relay	17
Gambar 2. 11 Protokol MQTT.....	19
Gambar 2. 12 Sensor DHT11	20
Gambar 2. 13 Sensor Capacitive Soil Moisture v1.2	21
Gambar 2. 14 Mini Pump DC	22
Gambar 2. 15 Nozzle Misting	23
Gambar 3. 1 Blok Diagram	24
Gambar 3. 2 Flowchart Suhu dan Kelembaban	26
Gambar 3. 3 Rangkaian Elektrikal.....	28
Gambar 3. 4 Desain Perancangan Alat	29
Gambar 4. 1 Gambar hasil perbandingan suhu	33
Gambar 4. 2 Grafik hasil perbandingan sensor suhu	33
Gambar 4. 3 Grafik Hasil Pembacaan Nilai ADC Terhadap Kondisi Tanah	36
Gambar 4. 4 Hasil pengukuran ketinggian.....	38
Gambar 4. 5 Grafik Hasil Pembacaan Nilai Ketinggian Tanaman	39
Gambar 4. 6 Grafik Suhu Hasil Pengujian Alat Keseluruhan	45
Gambar 4. 7 Grafik Kelembaban Hasil Pengujian Alat Keseluruhan	45
Gambar 4. 8 Grafik Tinggi Tanaman Hasil Pengujian Alat Keseluruhan	45

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Hasil panen Bayam	2
Tabel 2. 1 Spesifikasi Node MCU ESP32	16
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Nilai ADC Sensor	32
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Sensor Soil Capacitive.....	34
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Sensor Ketinggian.....	38
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Relay	40
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Relay Kontrol Pompa	41
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Kontrol Pompa Suhu dengan Relay.....	41
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Kontrol Pompa Air dengan Relay.....	42

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN PENGENDALI SUHU SERTA KELEMBABAN TANAH PADA *GREENHOUSE* BERBASIS NODEMCU ESP32 UNTUK TUMBUHAN BAYAM

Rafi Tulus Ardiansah

Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas

Diponegoro

Bayam (*Amaranthus sp.*) merupakan salah satu tanaman yang memiliki nilai gizi tinggi serta banyak dikonsumsi masyarakat karena mengandung vitamin, mineral, dan serat yang bermanfaat bagi kesehatan. Pertumbuhan bayam sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama suhu udara dan kelembaban tanah. Suhu yang terlalu tinggi dapat menghambat proses fotosintesis dan mempercepat penguapan, sedangkan kelembaban tanah yang rendah dapat menyebabkan tanaman mudah layu dan pertumbuhan terhambat. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang dapat memantau sekaligus mengendalikan kedua parameter lingkungan tersebut agar pertumbuhan bayam optimal. Pada penelitian ini dirancang bangun sistem monitoring dan pengendali suhu serta kelembaban tanah berbasis NodeMCU ESP32 yang diterapkan pada *Greenhouse* untuk budidaya bayam. Sensor DHT22 digunakan untuk mengukur suhu udara, sedangkan sensor kelembaban tanah kapasitif digunakan untuk memantau kadar air pada media tanam. Data sensor dikirim secara real-time melalui koneksi Wi-Fi menuju platform *Internet of Things* (IoT) sehingga dapat diakses menggunakan perangkat komputer maupun smartphone. Sistem pengendalian dirancang otomatis, yaitu kipas pendingin akan aktif ketika suhu melebihi ambang batas yang ditentukan, sementara pompa air akan menyala jika kelembaban tanah berada di bawah nilai minimum yang diatur. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menampilkan data suhu dan kelembaban tanah secara akurat dengan tingkat kesalahan pembacaan yang relatif kecil. Respon pengendalian juga berjalan dengan cepat dan stabil sesuai kondisi

lapangan. Dengan demikian, sistem ini dapat membantu menjaga kestabilan lingkungan tumbuh bayam di *Greenhouse*, meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, serta mendukung penerapan teknologi IoT pada sektor pertanian modern.

Kata Kunci : Bayam, *Greenhouse*, NodeMCU ESP32, Sensor Suhu, Sensor Kelembaban, Penyiraman Otomatis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini bumi sedang mengalami perubahan iklim yang berdampak signifikan pada hampir seluruh sektor kehidupan, terutama sektor pertanian. Efek yang ditimbulkan dari perubahan iklim yaitu perubahan pola curah hujan, kekeringan, banjir, dan cuaca panas berlebihan yang dapat mengakibatkan sulitnya penentuan waktu panen dalam sektor pertanian. Hal tersebut memberikan dampak yang besar dalam keberlangsungan sektor pertanian. Sektor pertanian memegang kendali besar bagi kehidupan manusia karena berkaitan dengan sumber pangan, persediaan pangan, dan kualitas pangan. Dengan cuaca yang sering berubah seperti musim hujan yang tidak bisa diprediksi oleh manusia kapan datangnya. Penggunaan teknik *Greenhouse* menjadikan solusi dari permasalahan – permasalahan tersebut. [2]

Greenhouse adalah salah satu teknologi pada budidaya tanaman. Secara umum *Greenhouse* dapat diartikan sebagai konstruksi bangunan untuk produksi tanaman dengan tujuan mengoptimalkan dan mengatur kondisi di dalam ruangan serta melindungi tanaman dari pengaruh keadaan yang tidak kondusif. *Greenhouse* dapat menjadi tempat tumbuh yang ideal bagi tanaman [1]

Bayam (*Amaranthuspp.*) merupakan salah satu tanaman yang memiliki prospek baik karena produktifitas yang cukup dan umur panen yang relatif cepat. Selain harganya yang terjangkau, pemanfaatannya tidak terbatas sebagai sayuran, namun bisa juga untuk kesehatan. Di Indonesia marak dikenal dua jenis bayam budidaya, yaitu bayam cabut (*Amaranthustricolor L.*) dan bayam petik (*Amaranthushybridus L.*). Jenis ini memang sengaja dibudidayakan untuk dikonsumsi dikarenakan daunnya yang terasa lezat, empuk dan mempunyai kandungan gizi yang tinggi. Selain itu, daunnya yang segar mempunyai nilai komersial yang tinggi. [3]

Di Indonesia marak dikenal dua jenis bayam budidaya, yaitu bayam cabut (*Amaranthustricolor L.*) dan bayam petik (*Amaranthushybridus L.*). Jenis ini memang sengaja dibudidayakan untuk dikonsumsi dikarenakan daunnya yang

terasa lezat, empuk dan mempunyai kandungan gizi yang tinggi. Selain itu, daunnya yang segar mempunyai nilai komersial yang tinggi. [3]

Tabel 1. 1 Hasil panen Bayam

No	Tahun	Jumlah (TON)
1	2018	162.277
2	2019	160.306
3	2020	157.024
4	2021	171.706
5	2022	170.821
6	2023	170.688

Tabel diatas merupakan data hasil panen bayam (TON) di Indonesia. Pada tabel diatas menunjukan hasil panen bayam yang relatif meningkat namun beberapa kali mengalami penurunan hasil. Hal tersebut disebabkan oleh perubahan iklim. Oleh karena itu, upaya menerapkan teknologi pada sektor pertanian harus dilakukan khususnya tumbuhan bayam untuk mencapai produksi bayam yang maksimal. Inovasi teknologi pada sektor pertanian dapat membantu para petani agar mereka dapat mengatasi masalah - masalah yang membuat hasil panen tidak maksimal, selain itu juga dapat berguna untuk mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan oleh perubahan iklim.

Kondisi lingkungan, tempat pembudidayaan, kondisi fisik, kimia dan biologis akan sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman holtikultura, karena akar tanaman akan bersentuhan langsung dengan media tanamnya. Kondisi iklim juga ikut serta mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Suhu, kelembabam, angin, cahaya dan curah hujan merupakan unsur iklim yang perlu diperhatikan dalam pembudidayaan tanaman holtikultura. [4]

Penelitian budidaya bayam cabut (*Amaranthus tricolor*) secara hidroponik di *Greenhouse* membandingkan suhu 28 °C, 32 °C, 35 °C, dan 38 °C. Hasilnya

menunjukkan bahwa suhu terbaik adalah 28 °C; suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman menurun [5]

Kelembaban tanah juga berpengaruh terhadap pertumbuhan bayam pada *Greenhouse*, Air yang berlebihan dalam tanah dapat merugikan tanaman sama halnya dengan kekurangan air. Aspek yang banyak merugikan akibat terlalu banyak suplai oksigen. Tanaman basah akan menghambat nitrifikasi yang menyebabkan tanaman menjadi kuning dan tampak kurang sehat [7]

Meningkatnya tekanan kelebihan air akibat genangan, menyebabkan laju fotosintesis menurun. Oleh karena kelebihan air tersebut menyebabkan terjadinya perubahan warna daun mudah menjadi kuning, terjadi klorosis daun, dan akhirnya akan mengering sehingga daun tidak aktif lagi sebagaimana mestinya, pemanjangan batang berkurang, tanaman tumbuhnya tidak normal dan akhirnya menyebabkan kegagalan [6].

Seperti kelebihan air, kekurangan air dapat menyebabkan tanaman menjadi kerdil, perkembangan vegetatif menurun akibat perkecambahan berkurang dan penurunan hasil fotosintesis daun. Menurunnya laju fotosintesis mengakibatkan pertumbuhan tanaman juga menurun, tanaman akan tumbuh kerdil dan bahkan dapat menimbulkan kegagalan. Kelembaban tanah yang baik untuk tanaman bayam ialah sekitar 40% - 60 %. [8]

Masalah yang dihadapi bila *Greenhouse* dikelola secara manual adalah tidak sesuai keadaan lingkungan yang dibutuhkan oleh tanaman. Sebagai contoh pada musim kemarau temperature atau suhu didalam *Greenhouse* sangat tinggi (*Greenhouse Effect*). Suhu dapat mencapai 38°C, keadaan ini akan berdampak pada pertumbuhan tanaman yang terdapat pada *Greenhouse* tersebut.[3]

Terdapat kendala dimana pengguna *Greenhouse* tidak dapat memonitoring kondisi tanaman secara terus menerus apabila meninggalkan lokasi *Greenhouse* dan mengharuskan pengguna untuk selalu berada di lokasi tersebut. Sehingga diperlukannya sebuah sistem untuk memonitoring kondisi didalam *Greenhouse* berbasis internet agar pengguna dapat memantau kondisi *Greenhouse* dari jauh [9]

Teknologi Internet of Things (IoT) adalah teknologi menggunakan internet yang berfungsi sebagai media komunikasi data antara pengguna dengan kondisi atau parameter nilai ukur dari suatu benda. Untuk mendapatkan data nilai ukur suatu benda diperlukan perangkat sensor. Perangkat sensor digunakan untuk membaca nilai ukur data analog atau digital dari suatu benda dan Minimum Sistem sebagai pengolah data untuk mengirimkan data tersebut ke internet.[10]

Dengan menggunakan sensor, didapatkan data dari kondisi suatu *Greenhouse*, misalnya suhu dan kelembaban tanaman. Data – data ini selanjutnya dikirimkan oleh Minimum Sistem menggunakan internet dan tersimpan kedalam *database server*. Kemudian data di *server* akan diakses oleh pengguna menggunakan perangkat mobile sehingga tanpa perlu mendatangi lokasi *Greenhouse*, pengguna dapat mengetahui kondisi *Greenhouse* dan tanamannya. Dengan menerapkan teknologi *Internet of Things* (IoT) pada *Greenhouse*, maka *Greenhouse* dapat mengatur kebutuhan lingkungan didalamnya secara otomatis sesuai dengan kebutuhan tanaman.[9]

Penelitian sebelumnya berjudul, “Perancangan Sistem Monitoring Tanaman Bayam Berbasis *Internet of Things* (IoT)” dalam penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem monitoring otomatis pada tanaman bayam di dalam *prototype Greenhouse* dengan memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT) agar kondisi lingkungan tanaman dapat dipantau secara *real-time* dari jarak jauh melalui *platform cayenne*. Namun, penelitian tersebut masih memiliki keterbatasan, di antaranya belum adanya sistem monitoring dan pengendalian suhu secara otomatis menggunakan aktuator, serta pengukuran tinggi tanaman masih dilakukan secara manual. [1]

Berdasarkan riset yang telah dilakukan, penulis akan mengambil judul **“RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN PENGENDALI SUHU SERTA KELEMBABAN TANAH PADA *GREENHOUSE* BERBASIS NODEMCU ESP32 UNTUK TUMBUHAN BAYAM “** yang akan diajukan sebagai tugas akhir sebagai salah satu syarat menyelesaikan pendidikan. Sistem ini dikembangkan sebagai solusi terhadap keterbatasan sistem sebelumnya, sistem ini

melakukan pengontrolan kondisi suhu maksimum sebesar 28 °C dan kelembaban tanah sebesar 40% - 60%. Sistem ini juga dapat memonitoring serta menghitung tinggi tanaman menggunakan sensor laser yang berbasis *Time of Flight* (TOF), dengan adanya sistem ini, diharapkan petani menjadi lebih mudah dalam memantau kondisi lingkungan dan pertumbuhan tanaman secara akurat, efisien dan berkelanjutan, sehingga proses budidaya tanaman, khususnya bayam dapat dilakukan dengan lebih optimal dan terkontrol di dalam *Greenhouse*.

1.2 Rumusan Masalah

Dari hasil pembahasan latar belakang tersebut, maka permasalahan yang penulis kemukakan pada tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana prinsip kerja dari sistem monitoring dan kendali suhu serta kelembaban pada *Greenhouse* berbasis NodeMCU ESP-32 untuk tumbuhan bayam?
2. Bagaimana cara mengontrol suhu maksimal sebesar 28 °C pada *Greenhouse* menggunakan metode on/off?
3. Bagaimana cara mengontrol kelembaban tanah sebesar 40% - 60% pada *Greenhouse* menggunakan metode on/off?
4. Bagaimana cara mengukur dan menampilkan ketinggian tanaman secara otomatis pada *Greenhouse*?

1.3 Tujuan Tugas Akhir

Berdasarkan perumusan masalah diatas, maka tujuan dari tugas akhir ini adalah

1. Menganalisis dan menerapkan prinsip kerja sistem monitoring dan kendali suhu serta kelembaban pada *Greenhouse* berbasis NodeMCU ESP32 untuk tumbuhan bayam.
2. Merancang dan mengimplementasikan sistem pengendalian suhu pada *Greenhouse* menggunakan metode on/off agar suhu ruangan maksimal terjaga pada 28°C.

3. Merancang dan mengimplementasikan sistem pengendalian kelembaban tanah pada *Greenhouse* menggunakan metode on/off sehingga kelembaban terjaga pada kisaran 40% - 60%.
4. Mengukur dan menampilkan tinggi tanaman secara otomatis menggunakan sensor laser pada *Greenhouse*.

1.4 Manfaat Tugas Akhir

Adapun manfaat dari penyusunan tugas akhir ini sesuai dengan perumusan masalah yang ada dan tujuan yang telah ditentukan adalah sebagai berikut:

1. Bagi penulis, dalam penyusunan tugas akhir ini diharapkan penulis mampu menerapkan ilmu baik teori maupun praktik yang telah dipelajari selama menempuh Pendidikan di Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi serta dapat menambah ilmu di bidang Kontrol dan ilmu Otomasi.
2. Bagi pembaca, dari penyusunan tugas akhir ini diharapkan dapat menjadi sumber referensi dan informasi yang edukatif, terutama bagi mahasiswa yang sedang melakukan penelitian, penyusunan tugas, skripsi maupun tugas akhir dengan topik pembahasan yang sama.
3. Bagi masyarakat, alat yang dirancang pada tugas akhir ini lebih ditunjukan sebagai Gambaran sejauh mana perkembangan teknologi pada sektor pertanian, sehingga manfaat bagi masyarakat khususnya para petani adalah mendapatkan wawasan mengenai alat yang akan dirancang berdasarkan tugas akhir ini. Masyarakat juga nantinya bisa membuat dan memodifikasi alat ini untuk diaplikasikan pada kehidupan sehari hari

1.5 Pembatasan Masalah

Agar pembahasan pada tugas akhir ini lebih terarah, batasan – batasan dari pembuatan alat tugas akhir ini adalah :

1. Sistem monitoring dan pengendalian hanya difokuskan pada 3 parameter lingkungan, Suhu udara di dalam *Greenhouse*, Kelembaban tanah di area perakaran tanaman, dan Pengukuran pada tinggi tanaman.

2. Sistem monitoring dilengkapi dengan antarmuka berbasis web yang menampilkan data sensor secara real-time menggunakan konektivitas Wi-Fi.
3. Penelitian dilakukan dalam skala *Greenhouse* mini, tidak mencakup implementasi komersial berskala besar

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Dalam penyusunan tugas akhir ini perlu dilakukan literasi terhadap penelitian yang telah dilakukan terlebih dahulu. Penelitian yang berkaitan dengan Sistem Monitoring dan Pengendali Suhu serta Kelembaban tanah pada *Greenhouse* berbasis NodeMCU ESP-32 antara lain:

1. Yusni Bandini dan Nurudin Azis membuat buku yang berjudul **Bayam**. Isi buku ini membahas tentang tinjauan menyeluruh tentang bayam, dari aspek botani maupun morfologi. Serta faktor faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman bayam
2. Jurnal yang ditulis oleh N. Ananda dan C. Umari dengan judul **"Perancangan Sistem Monitoring Tanaman Bayam Berbasis Internet of Things (IoT)"** membahas tentang pengembangan sebuah sistem monitoring berbasis IoT yang ditujukan untuk tanaman bayam di dalam *Greenhouse*. Namun penelitian ini memiliki beberapa kekurangan, di antaranya yaitu sistem hanya berfungsi monitoring, belum dilengkapi fitur pengendalian otomatis seperti pompa atau kipas.
3. **"Prototype Penyiram Tanaman Bayam Otomatis untuk Menjaga Kelembaban Tanah Berbasis NodeMCU ESP8266"** oleh Saiful Rahman dan Reva Ragam Santika, Jurnal ini membahas pengembangan prototipe alat penyiram otomatis untuk tanaman bayam. Jurnal ini memiliki beberapa kekurangan yang diantaranya adalah belum ada integrasi kendali otomatis lain, hanya fokus ke irigasi.
4. Jurnal **"Sistem Monitoring Smart Greenhouse pada Lahan Terbatas Berbasis Internet of Things (IoT)"** oleh U. Ristian, I. Ruslianto, dan K. Sari mengembangkan sistem yang berhasil menyediakan monitoring dan pengendalian otomatis sejumlah parameter penting bagi tanaman dalam *Greenhouse*.

Berdasarkan referensi yang ada, Gambaran mengenai Sistem Monitoring dan Pengendali Suhu serta Kelembaban tanah pada *Greenhouse* belum mendapatkan hasil yang maksimal, maka dari itu penulis ingin merancang sebuah alat sebagai Sistem Monitoring dan Pengendali Suhu, Pengukur ketinggian serta Kelembaban tanah pada *Greenhouse* berbasis NodeMCU ESP-8266 pada tanaman bayam.

2.2 Bayam



Gambar 2. 1 Bayam

<https://nourishindonesia.com/bayam-hijau-organik-200gr>

Bayam merupakan tanaman sayuran yang berasal dari daerah Amerika Tropik. Bayam semula dikenal sebagai tanaman hias, namun dalam perkembangan selanjutnya bayam dijadikan sebagai sumber bahan pangan karena bayam mengandung protein, vitamin A dan C, serta sedikit vitamin B, dan mengandung garam-garam mineral seperti kalsium, posfor dan besi. [8]

Bayam biasa ditanam untuk dikonsumsi daunnya sebagai sayuran hijau. Pertumbuhannya secara normal sangatlah cepat, sehingga dalam waktu kurang dari 4 minggu bayam sudah dapat dipanen. Bayam dikenal dan dimanfaatkan oleh masyarakat Indonesia sebagai bahan sayuran. Kandungan daunnya yang bergizi tinggi dan rasanya yang nikmat, membuat bayam digemari oleh berbagai kalangan. Daun bayam dapat diolah menjadi sayur mayur, bahkan dapat disajikan sebagai

hidangan mewah. Beberapa manfaat bayam diantaranya dapat memperbaiki daya kerja ginjal dan melancarkan pencernaan. Beberapa negara berkembang telah mempromosikan bayam sebagai sumber protein nabati. [8]

Di Indonesia dikenal dua jenis bayam budidaya, yaitu bayam cabut (*Amaranthus Tricolor L.*) dan bayam petik (*Amaranthus Hybridus L.*). Jenis ini sengaja dibudidayakan untuk dikonsumsi karena rasa daunnya enak, empuk, dan mempunyai kandungan gizi yang tinggi, selain itu daunnya yang segar memiliki nilai komersial. [7]

Tanaman bayam adalah tanaman yang memerlukan banyak air karena tanaman bayam mengandung lebih dari 80% air. Penyiraman tanaman perlu dilakukan secara presisi untuk menghindari kekurangan dan kelebihan air. [9] Pembudidayaan tanaman bayam harus memiliki kadar air yang sesuai dengan kebutuhan, kebutuhan kadar kelembaban tanah tanaman bayam adalah sekitar 40 – 60 % [10]

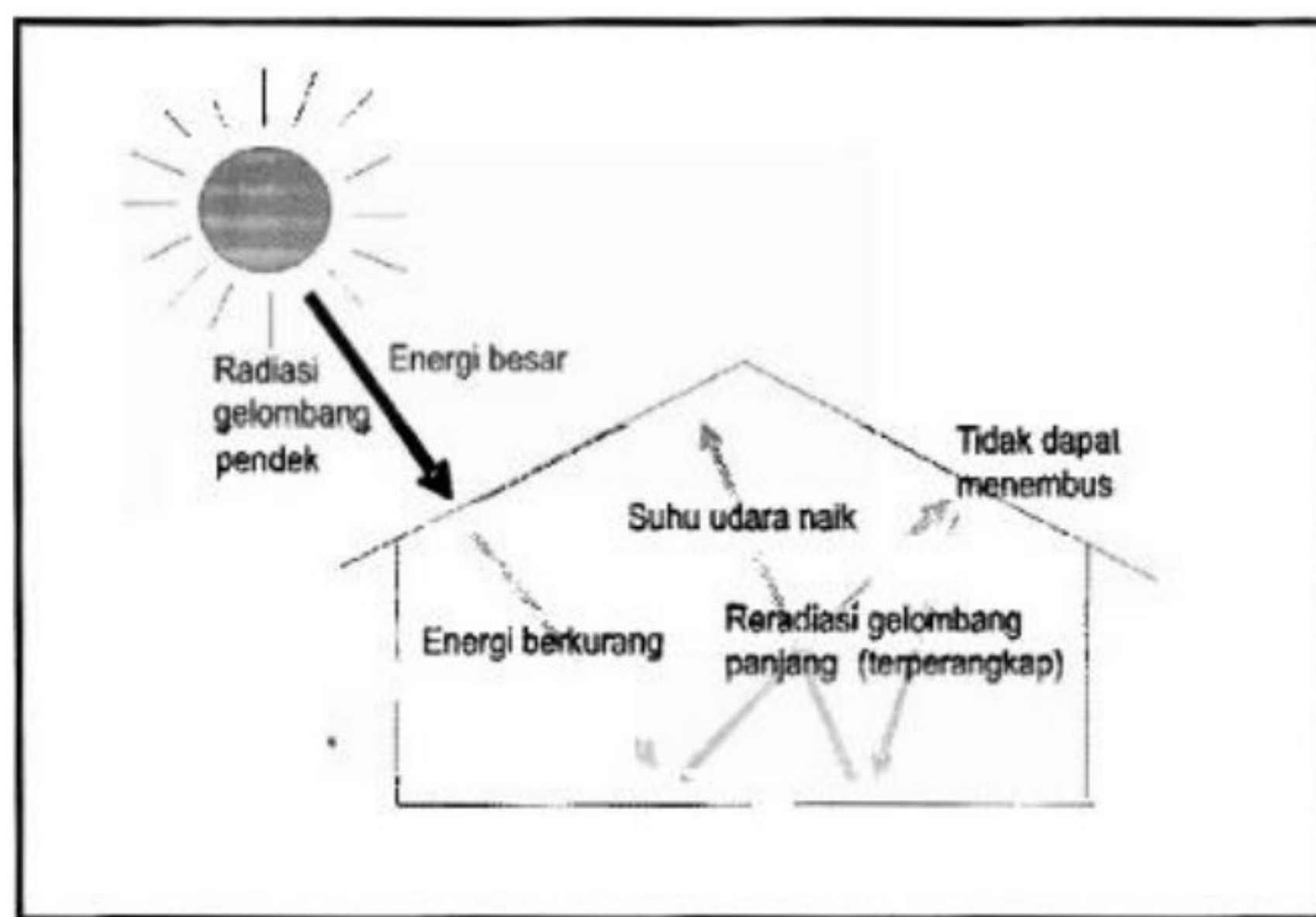
Suhu udara mempengaruhi berbagai aspek pertumbuhan tanaman, termasuk laju fotosintetis, respirasi dan pembentukan klorofil. Bayam adalah tanaman yang toleran terhadap suhu dingin, namun terlalu dingin atau terlalu panas dapat menghambat pertumbuhannya. Pada suhu dibawah 10 derajat celcius, pertumbuhan bayam bisa terhambat, dan risiko pembekuan pada daun juga meningkat. Pada suhu diatas 30 derajat celcius, bayam cenderung mengalami stress dan cepat berbunga (*bolting*), yang mengakibatkan kualitas daun menurun. Suhu optimal bagi bayam berada dikisaran 18 derajat hingga 28 derajat celcius. Pada rentang suhu ini, proses fotosintetis tanaman akan berlangsung dengan baik, menghasilkan daun yang lebih lebar dan berwarna hijau cerah. [11]

2.3 Greenhouse (Rumah Kaca)

Greenhouse atau Rumah Kaca adalah bangunan yang dirancang untuk budidaya tanaman dengan struktur dinding dan atap yang dapat ditembus oleh Cahaya. Struktur ini memungkinkan cahaya matahari untuk masuk,serta

melindungi tanaman dari kondisi lingkungan eksternal yang tidak menguntungkan, seperti suhu ekstrem, curah hujan berlebihan, dan angin kencang. [12]

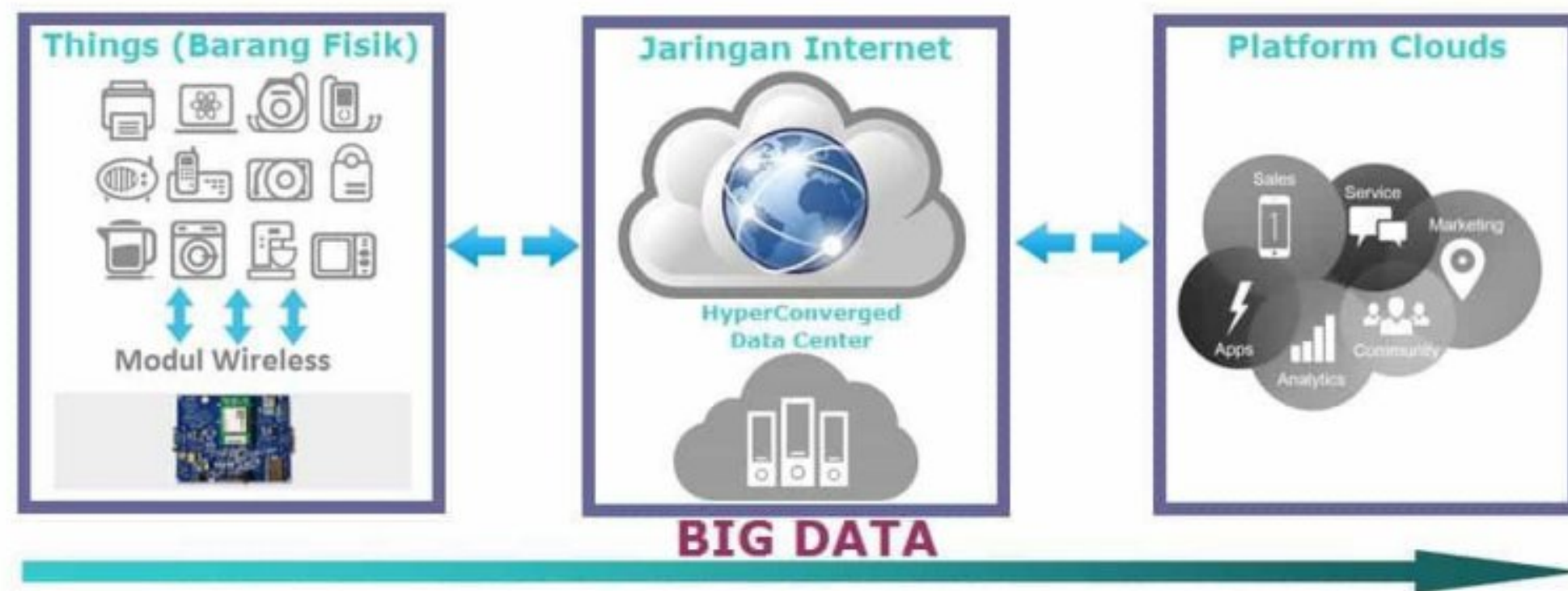
Struktur *Greenhouse* berinteraksi dengan parameter iklim di sekitarnya dan menciptakan iklim mikro didalamnya, yang berbeda dengan parameter iklim di sekitar *Greenhouse*. Hal ini disebut sebagai peristiwa *Greenhouse effect* atau efek rumah kaca. [12]



Gambar 2. 2 *Greenhouse Effect*

2.4 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah sebuah konsep dimana suatu objek yang memiliki kemampuan untuk mentransfer data melalui jaringan tanpa memerlukan interaksi manusia. *Internet of Things* (IoT) secara umum dapat digambarkan sebagai aktivitas sebuah benda yang berkomunikasi satu sama lain melalui jaringan internet. Hal yang diperlukan agar terbentuknya *Internet of Things* (IoT) adalah kumpulan data, jaringan yang menghubungkan antar benda dan kemampuan suatu benda yang andal sehingga meningkatkan perform dari kemampuan memproses data.[13]



Gambar 2. 3 Tiga Elemen Pada Konsep IoT

Gambar 2.3 diatas merupakan elemen utama dalam konsep IoT, yaitu benda fisik atau nyata yang telah diintegrasikan pada modul sensor, koneksi internet dan pusat data pada server untuk menyimpan data ataupun informasi dari aplikasi. Dalam penelitian tugas akhir ini IoT untuk melakukan monitoring dan pengendalian suhu pada *Greenhouse* melalui jarak jauh. IoT akan menghubungkan sensor DHT11, VL53L0X, dan Capacitive Soil sebagai modul sensor dengan dashboard IoT yang dibuat menggunakan *platform* Node-RED melalui koneksi internet.

2.5 Sensor Jarak VL53L0X

Sensor jarak VL53L0X adalah sensor jarak berbasis laser yang dapat mengukur jarak dengan sangat akurat. Modul ini bisa mengukur jarak sampai 2 meter. Prinsipnya, sinar laser ditembakkan ke obyek terdekat, dipantulkan ke detector, dan modul ini menghitung waktu tempuh laser (saat ditembakkan dan saat diterima detektor). Modul ini menggunakan interface I2C ke mikrokontroler. [14]. Berikut adalah gambar dari VL53L0X :



Gambar 2. 4 VL53L0X v2

Tabel 2. 1 Spesifikasi VL53L0X v2

Spesifikasi	Keterangan
Size	4.40 x 2.40 x 1.00 mm
Tegangan Input	2.6 to 5.5 Volt
Operating temperature	-20 to 20C
Infrared emmitter	940 nm
I2C	Up to 400 kHz (FAST Mode) serial bus Addres : 0x52

2.6 Node-RED

Node-RED adalah sebuah *tool* berbasis browser untuk membuat aplikasi *Internet of Things* (IoT) yang mana lingkungan pemrograman visualnya mempermudah penggunaannya untuk membuat aplikasi sebagai '*flow*' .. Bahasa imperative berorientasi objek saat ini menguasai dunia pemrograman, alternatif untuk pengembangan atau produksi software dan juga untuk membuat prototipe ide dengan cepat. Node-RED mengambil jalur alternatif tersebut untuk pengembangan software. Node-RED adalah Bahasa pemrograman visual. Daripada membuat aplikasi sebagai barisan kodingan, Node-RED focus ke program sebagai *flow*. [15]



Gambar 2. 5 Flow didalam lingkungan pengembangan Node-RED

Flow ini terbentuk dari node-node yang saling berhubungan dimana tiap node melakukan tugas tertentu. Node-RED menyediakan berbagai jenis *node* yang dapat membuat developer langsung menjadi produktif, seperti :

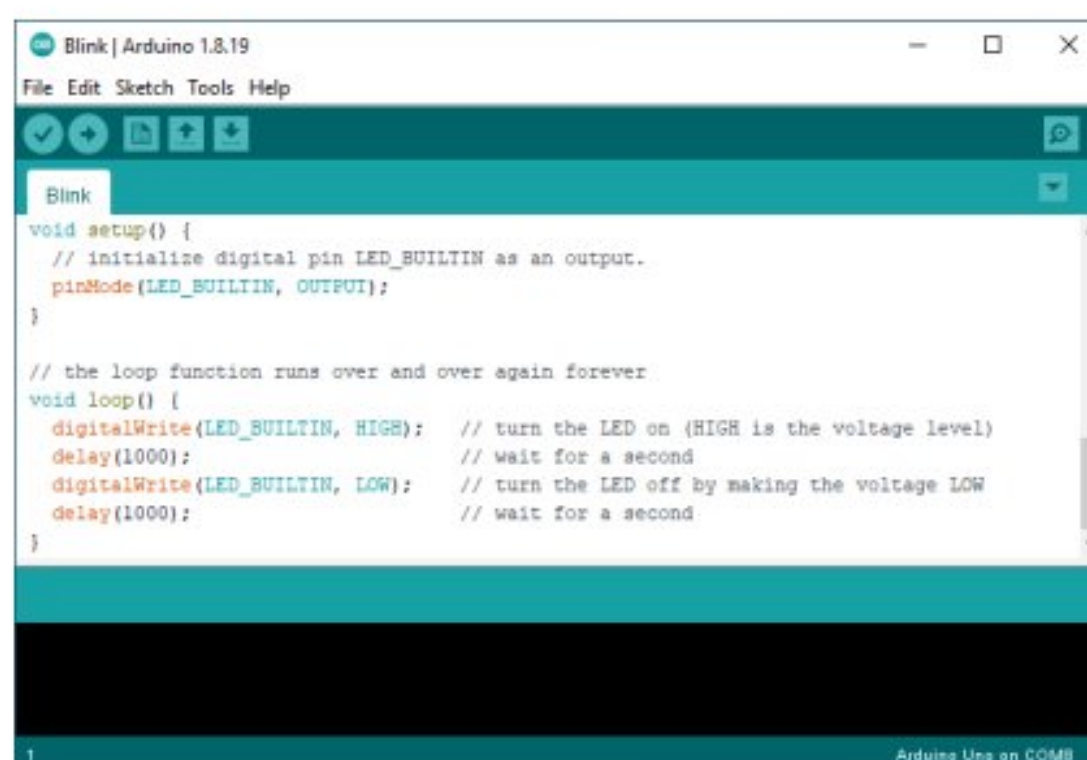
1. Menampilkan *input node* dan *output node* yang mana mengizinkan subkripsi dan tanda terima dari topik *MQ Telemetry Transport* (MQTT) dan keluaran dari topik MQTT ke sebuah *broker*.
2. Mengembangkan layanan web melalui permintaan HTTP (beserta pembuatan balasan HTTP); dan TCP level rendah dan layanan *User Datagram Protocol* yang dapat membuat server, menerima input, dan menghasilkan output.

2.7 Arduino IDE

Arduino IDE merupakan perangkat lunak *open-source* yang digunakan untuk membuat, membuka dan mengedit program yang akan kita masukan ke dalam mikrokontroler. *Software* ini terdiri dari :

1. *Window editor* program yang memungkinkan pengguna membuat dan mengedit program dalam Bahasa C.
2. *Compiler* yang berfungsi untuk mengubah kode program menjadi kode biner yang bisa dipahami oleh suatu mikrokontroler.
3. *Uploader* merupakan sebuah modul yang memuat kode biner dari komputer ke dalam memori di dalam papan mikrokontroler.

Arduino IDE memiliki struktur bahasa pemrograman yang sederhana dan fungsi yang lengkap sehingga mudah untuk dipelajari oleh pemula sekalipun.



Gambar 2. 6 Tampilan antarmuka Arduino IDE

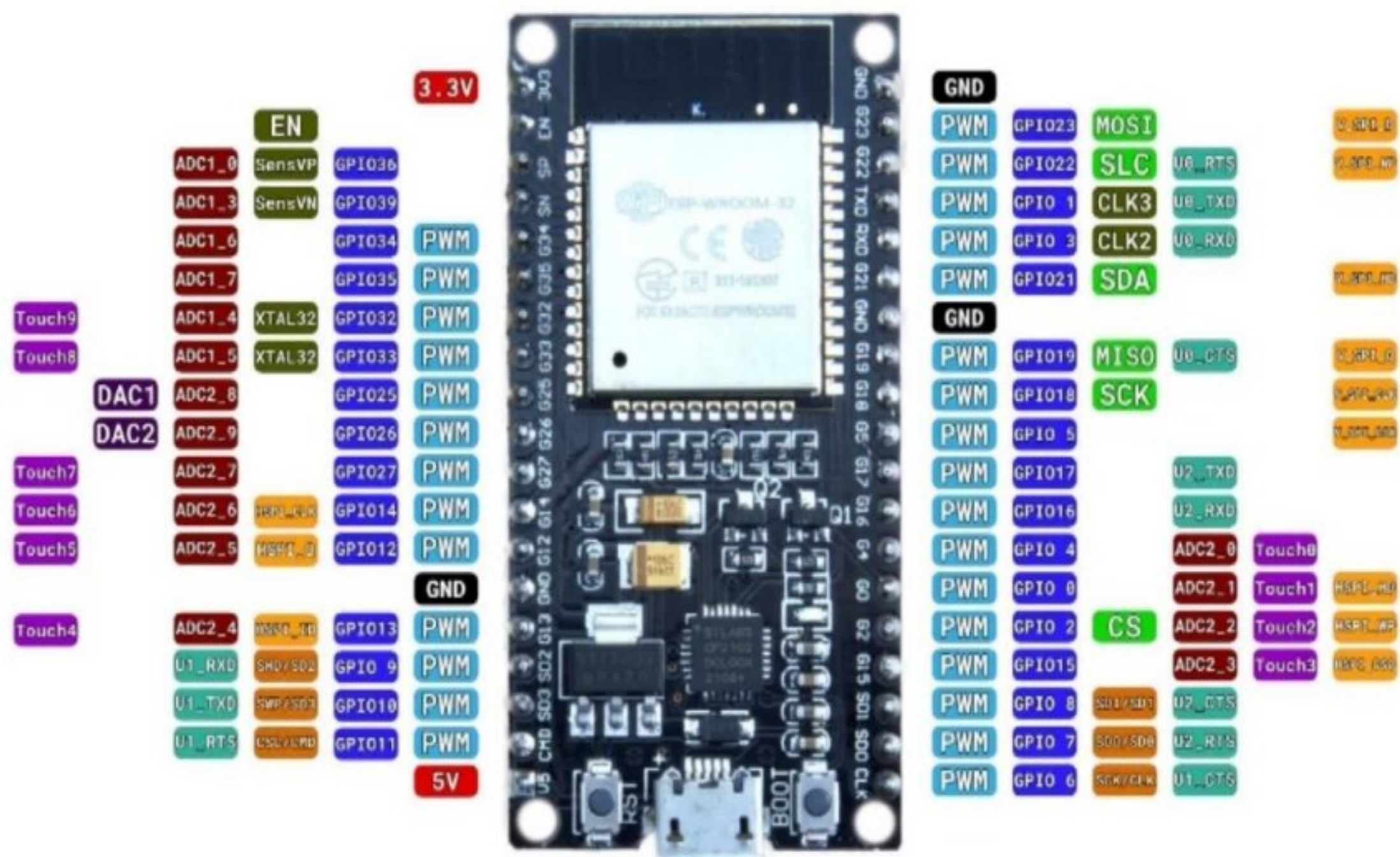
2.8 NodeMCU ESP32

NodeMCU ES32 adalah mikrokontroler penerus dari mikrokontroler ESP8266. Pada mikrokontroler ini sudah tersedia modul Wifi didalam chip sehingga sangat mendukung yang berkaitan dengan *Internet of Things (IoT)*. Berikut merupakan gambar dari NodeMCU ESP32 :

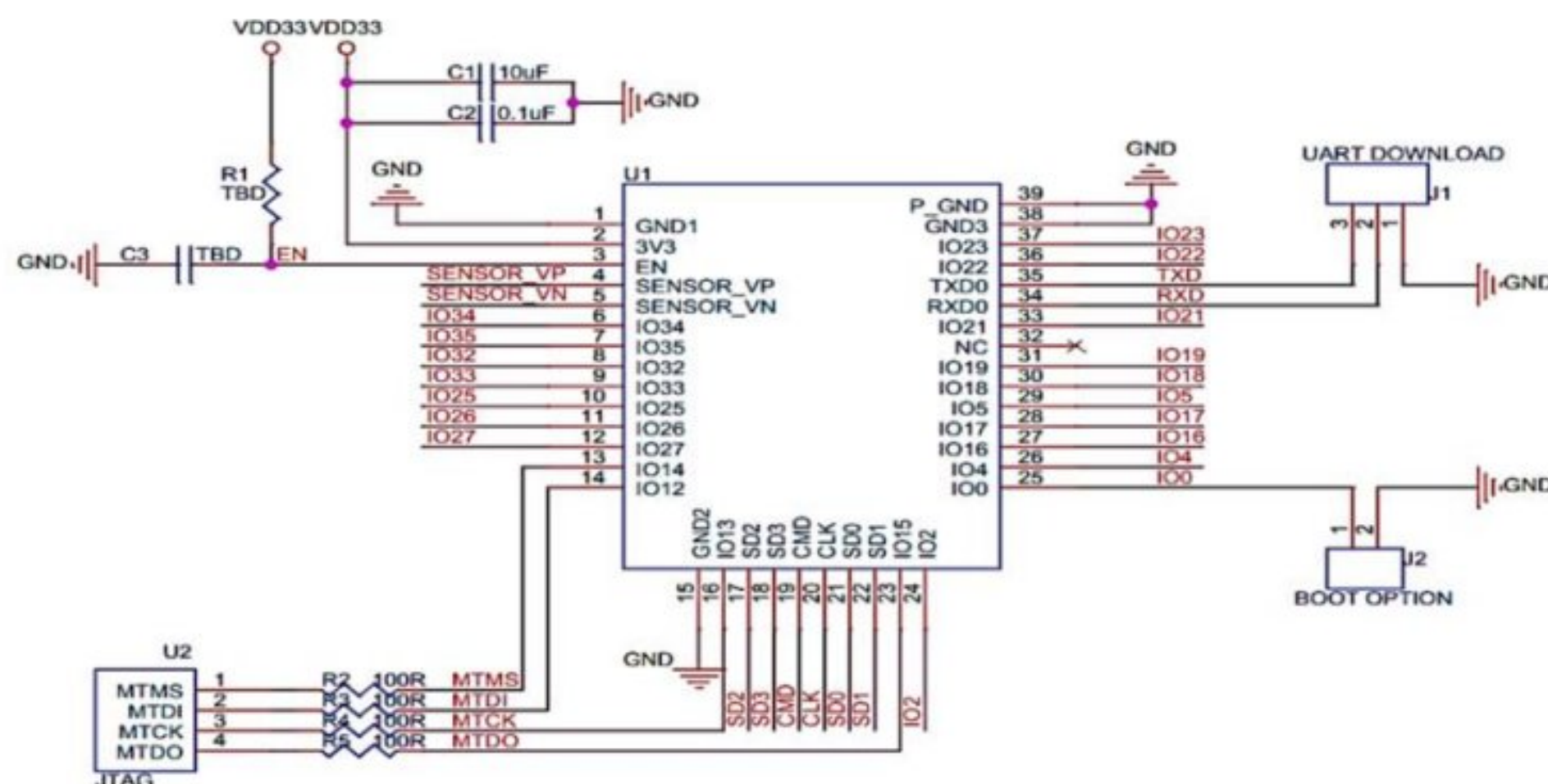


Gambar 2. 7 Node MCU ESP32

Board ini memiliki dua versi, yaitu 30 GPIO dan 36 GPIO. Keduanya memiliki fungsi yang sama, tetapi versi 30 GPIO memiliki 2 GND. [16] Pada gambar 2.8 merupakan susunan kaki board dari NodeMCU ESP32:



Gambar 2. 8 Pin Out NodeMCU ESP32



Gambar 2. 9 Skematik Esp32

Pada gambar 2.9 merupakan skematik dari chip Esp32. Board ini memiliki interface USB to UART sehingga mudah diprogram dengan program pengembangan aplikasi seperti Arduino IDE atau lainnya.[16]

Tabel 2. 2 Spesifikasi Node MCU ESP32

Spesifikasi	Keterangan
Mikrokontroler	ESP32
Tegangan Input	3.3 Volt
GPIO	34 Pin
Flash Memory	16 MB
RAM	512kB
USB Port	Micro USB
WiFi	IEEE 802.11b/g/n/i
SPI/I2C/UART	4/2/2

2.9 Relay

Relay adalah komponen elektromekanis yang berfungsi sebagai saklar otomatis yang dikendalikan oleh arus listrik bertegangan rendah untuk

menghubungkan atau memutus arus bertegangan lebih tinggi. Relay merupakan salah satu komponen elektronika mekanik yang pada umumnya digunakan sebagai saklar dan dioperasikan secara elektrik. Relay terdiri dari dua buah komponen utama yaitu koil sebagai bagian elektromagnet dan kontak saklar yang merupakan bagian mekanik. Koil pada relay memiliki spesifikasi tegangan kerja yang beragam, ada 5VDC, 9VDC, 12 VDC dan lainnya. Relay dioperasikan secara elektrik dan termasuk komponen elektromekanis yang terdiri dari dua bagian, yaitu elektromagnet (kumparan) dan mekanik (satu set kontak saklar). Relay menggunakan prinsip tuas sakelar untuk melilitkan kawat disekitar batang besi (solenoid) didekatnya. Ketika solenoid diberi energi maka batang akan tertarik karena gaya magnet yang dihasilkan oleh solenoida, sehingga menutup kontak sakelar.

Relay terdiri dari beberapa komponen utama, kumparan, pegas, saklar, serta dua jenis kontak elektronik, yaitu:

1. NO (Normally Open); saklar terbuka pada kondisi normal.
2. NC (Normally Close); saklar tertutup pada kondisi normal.

Apabila relay diberi tegangan Listrik maka relay akan bekerja dan langsung menutup (terhubung), namun relay tidak beroperasi (tertutup) apabila relay tidak mendapat tegangan. Hal tersebut dikarenakan relay memiliki sifat Normally Open (NO) dan Normally Close (NC).



Gambar 2. 10 Relay

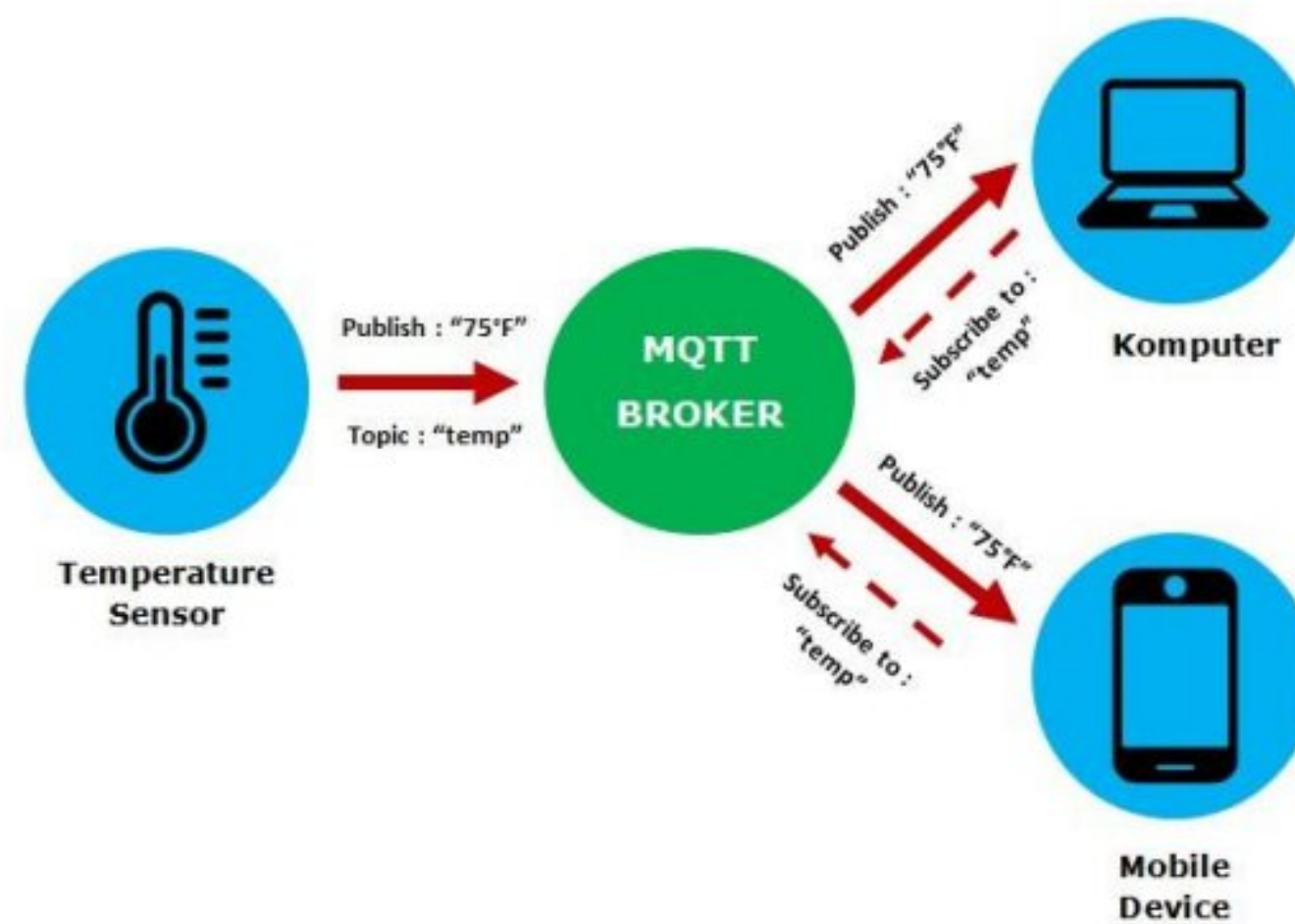
Tabel 2. 3 Spesifikasi Relay

Spesifikasi	Keterangan
Maximum load	AC 250V/10A, DC 30V/10A
Jumlah channel	2
Working voltage	5V, active LOW

2.10 MQTT

MQTT (*Message Queuing Telemerty Transport*) merupakan protokol transport dengan sifat *clientserverpublish/subscribe* dan karakteristik sederhana, terbuka dan ringan yang dirancang agar mudah diimplementasikan sehingga dapat digunakan pada banyak sistem seperti penggunaanya dalam komunikasi *machine-to-machine* dan *Internet of Things* (IoT). Protokol MQTT dapat berjalan menggunakan TCP/IP sehingga protokol MQTT membutuhkan transportasi untuk menjalankan perintah MQTT, *bytesrteam* dari *client to server* atau *server to client*.

Pada gambar 2.11 gambaran dari konsep protokol MQTT terdiri dari *publisher*, *broker* dan *subscriber*. *Publisher* sebagai pengirim pesan, *broker* sebagai penyampai pesan dan *subscriber* sebagai penerima pesan. MQTT dapat meminimalkan bandwidth jaringan dan kebutuhan sumber daya perangkat ketika mencoba untuk menjamin kehandalan dan pengiriman. Hal ini membuat protokol MQTT sangat cocok untuk menghubungkan sensor-sensor dalam sebuah penelitian dan merupakan aspek penting dari konsep *Internet of Things*.



Gambar 2. 11 Protokol MQTT

2.11 Sensor DHT11

Sensor DHT 11 merupakan sensor kalibrasi sinyal digital yang dapat memberikan informasi mengenai kelembaban dan suhu. Sensor ini merupakan komponen yang memiliki tingkat stabilitas yang baik, apalagi dengan kemampuan mikrokontroler ESP32. DHT 11 menghasilkan data digital nilai suhu dari 0 hingga 50°C (dalam celcius). DHT 11 keluaran sinyal digital terkalibrasi ini menerapkan Teknik pengumpulann sinyal digital eksklusif dan teknologi penginderaan suhu, untuk memastikan stabilitas dan keandalannya. Elemen pengindraannya terhubung dengan komputer chip Tunggal 8-bit. Setiap elemen yang terdapat pada sensor DHT11 sudah terkalibrasi dan teruji akurat. Kalibrasinya terprogram di OTP memori yang digunakan pada saat sensor mendeteksi sinyal internal. Ukuran yang relatif kecil dan sedikit konsumsi powernya dan jangkauan sinyal transmisinya hingga 20 meter. Komponennya terdiri dari 3 pin yang berada dalam 1 garis. Kelebihan dari sensor ini dibanding sensor lainnya adalah dari segi kualitas pembacaan data sensing yang lebih responsif dibanding sensor lainnya, dan memiliki kecepatan dalam membaca objek suhu. Dan data yang terbaca tidak mudah terintervensi.



Gambar 2. 12 Sensor DHT11

Tabel 2. 4 Spesifikasi Sensor DHT11

Spesifikasi	Keterangan
Rentang Pengukuran Suhu	0 – 50
Kesalahan pengukuran	+ - 1,5
Tegangan Kerja	3,3 V – 5 V
Bentuk output	Keluaran digital

2.12 Sensor Capacitive Soil Moisture v1.2

Ukuran kelembaban tanah sangat menentukan kesuburan tanaman. Tanah yang terlalu lembab atau terlalu basah dapat berpengaruh negatif pada kesuburan tanaman. Sensor Capacitive Soil Moisture adalah sensor kelembaban tanah yang bekerja berdasarkan perubahan nilai kapasitansi pada medan listrik di sekitar permukaan sensor. Sensor ini digunakan untuk mengukur kadar air (kelembaban) di dalam tanah tanpa kontak langsung antara bagian logam sensor dengan tanah basah, sehingga lebih tahan korosi dibandingkan dengan sensor tipe resistif. Sensor akan mengirimkan input informasi ke ESP32 tentang kondisi kelembaban tanah secara real-time. Informasi kelembaban tanah tersebut yang nantinya akan digunakan sebagai acuan kapan tanaman harus membutuhkan air. Sensor ini hanya

memiliki satu probe, tidak ada logam yang terpapar karat, dan tidak membahayakan tanaman dengan mengalirkan listrik ke dalam tanah. Sensor kelembaban tanah kapasitif bekerja dengan prinsip kapasitansi listrik. Sebuah kapasitor terdiri atas dua elektroda penghantar yang dipisahkan oleh bahan dielektrik. Nilai kapasitansi akan berubah-ubah sesuai dengan konstanta dielektrik medium di sekitarnya. Pada sensor ini, elektroda dicetak pada papan PCB yang kemudian ditanam ke dalam tanah. Tanah dan air di sekitarnya bertindak sebagai media dielektrik. Karena air memiliki konstanta dielektrik yang jauh lebih besar (≈ 80) dibanding udara (≈ 1) maupun partikel tanah ($\approx 3-5$), maka perubahan kandungan air akan memengaruhi besar kapasitansi. Perlu diketahui bahwa sensor ini hanya dapat memberikan pengukuran kualitatif kelembaban tanah. Semakin basah tanah, nilai keluarannya menurun, dan semakin kering tanah, nilai keluarannya meningkat. Sensor ini tidak langsung menghasilkan nilai kelembaban dalam persen, tetapi mengubah perubahan kapasitansi menjadi tegangan analog (0–5V) yang bisa dibaca oleh mikrokontroler. Berikut adalah rumus untuk mengubah adc menjadi nilai persen:

$$kelembaban = \frac{ADC_{kering} - ADC_{baca}}{ADC_{kering} - ADC_{basah}} \times 100$$

ADC_{kering} = Nilai ADC saat kering
 ADC_{basah} = Nilai ADC saat basah
 ADC_{baca} = Nilai ADC yang dibaca sensor saat ini



Gambar 2. 13 Sensor Capacitive Soil Moisture v1.2

Tabel 2. 5 Spesifikasi Sensor Moisture Soil Kapasitif

Spesifikasi	Keterangan
Working Voltage	3.3 – 5.5 vdc
Output Voltage	0 – 3 VDC
Port	PH2.54 – 34P
Output	Analog

2.13 Water Pump

Pompa air adalah sebuah alat mekanik yang dapat memindahkan fluida atau gas dengan cara menghisap atau dengan cara memberikan tekanan. Ada dua komponen utama pada Pompa air. Pertama adalah motor, sebagai penggerak pompa dan pompa sebagai alat yang mengangkut atau memindahkan air. Pompa air digunakan sebagai sumber air yang digunakan untuk penyiraman tanaman dengan bantuan pipa sebagai media pengaliran air.



Gambar 2. 14 Mini Pump DC

Tabel 2. 6 Spesifikasi Mini Pump DC

Spesifikasi	Keterangan
Input Voltage	3V – 5V DC
Flow Rate	1.2 – 1.6 L/min

Operation Current

0.1 – 0.2 A

Diameter of water inlet

5.0 mm

2.14 Nozzle Misting

Semprotan memiliki banyak pengaplikasian, seperti dalam sistem pembakaran, pertanian, proses industri, pengendalian debu, pemadaman kebakaran, pengeringan semprot, pendinginan inti reaktor nuklir dan masih banyak lagi. Salah satu teknik yang paling banyak digunakan dengan menggunakan nosel adalah pendinginan evaporatif. Pemanasan di dalam *Greenhouse* berpengaruh pada pertumbuhan tanaman, salah satu metode untuk mengurangi dampak ini adalah dengan menggunakan semprotan air. Metode ini dapat menurunkan kenaikan suhu didalam *Greenhouse*. Konsep semprotan ini adalah menghasilkan tetesan air atau kabut kecil ke sekitarnya, dengan memberikan tekanan pada air dan menyemburkannya melalui nozzle. [17]

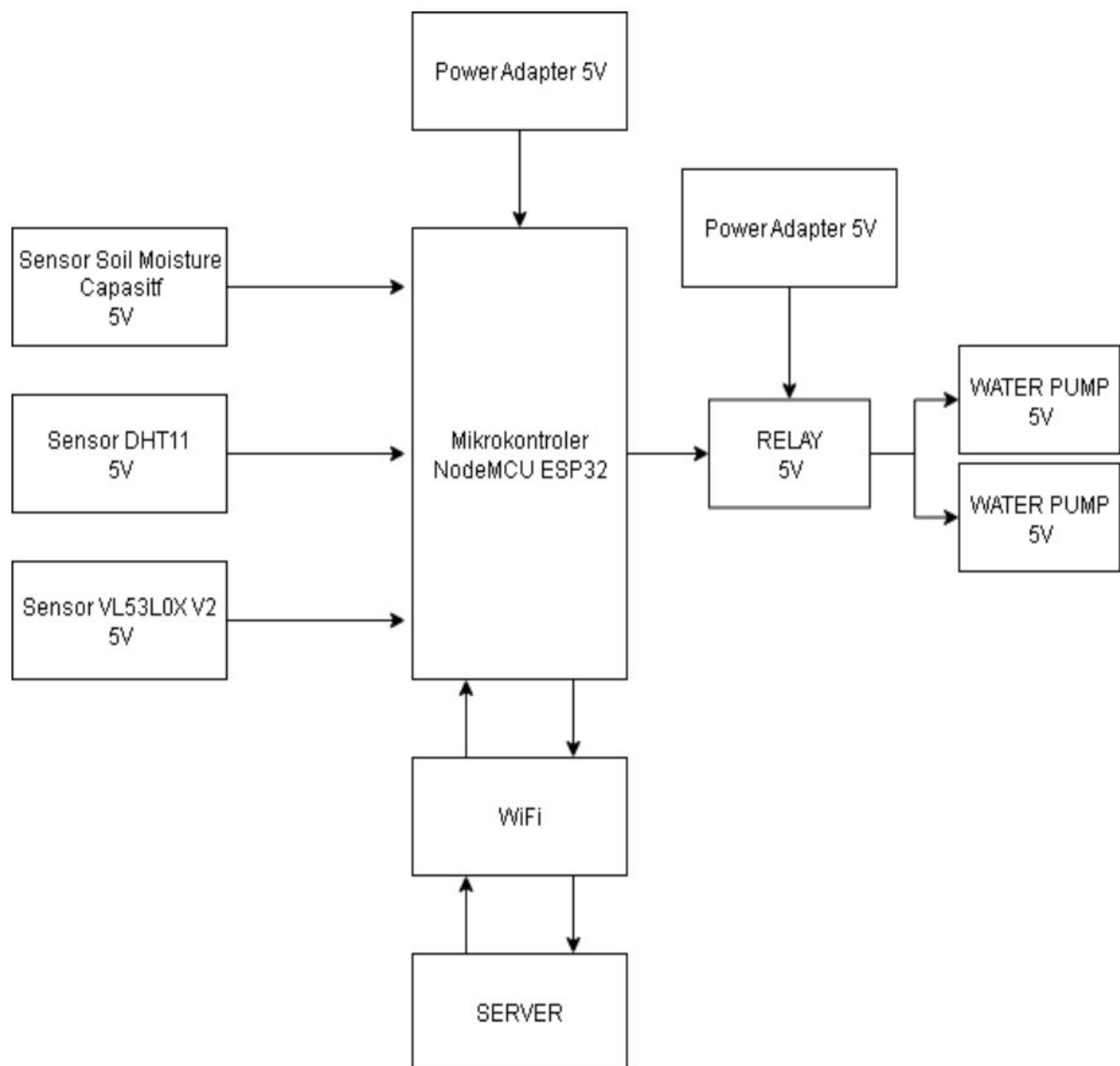


Gambar 2. 15 *Nozzle Misting*

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Blok



Gambar 3. 1 Blok Diagram

Diagram blok pada gambar 3.1 menjelaskan tentang blok diagram antar komponen sistem monitoring dan pengendalian tanaman berbasis ESP32. Sistem

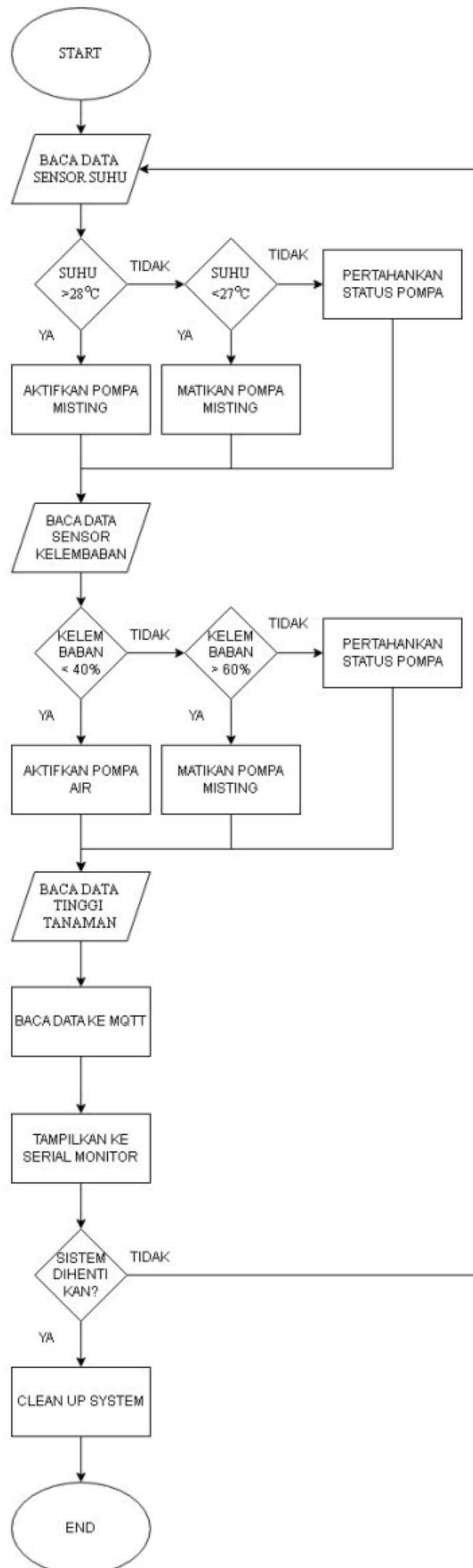
ini terdiri dari beberapa bagian, yaitu sensor-sensor input, mikrokontroler ESP32, modul relay, serta komunikasi WiFi yang terhubung ke server. Seluruh sistem mendapatkan daya dari power adapter 5V, yang digunakan untuk mengaktifkan mikrokontroler, sensor, dan relay. Alur kerja sistem secara keseluruhan dimulai ketika power adapter 5V menyalurkan daya ke seluruh komponen sistem, meliputi mikrokontroler NodeMCU ESP32, sensor-sensor, dan modul relay. Setelah sistem aktif, ESP32 akan menjalankan proses inisialisasi dan mulai membaca data dari ketiga sensor yang terhubung. Sensor DHT11 mengukur suhu udara di sekitar tanaman, sensor soil moisture kapasitif membaca tingkat kelembaban tanah, dan sensor VL53L0X v2 mendeteksi jarak antara sensor dengan daun tanaman, yang kemudian diubah menjadi nilai tinggi tanaman. Seluruh data hasil pengukuran tersebut diproses di dalam ESP32.

Berdasarkan hasil pembacaan sensor, mikrokontroler kemudian melakukan logika pengendalian otomatis terhadap dua buah pompa air melalui modul relay 2 channel. Ketika suhu udara terdeteksi melebihi batas yang ditentukan yaitu di atas 28°C, relay pertama akan aktif untuk menyalakan pompa misting, yang berfungsi menurunkan suhu udara di dalam *Greenhouse*. Jika suhu sudah turun di bawah 27°C, pompa misting akan dimatikan. Pada saat yang sama, jika nilai kelembaban tanah terbaca kurang dari 40%, maka relay kedua akan aktif untuk menyalakan pompa penyiraman agar tanah kembali lembab. Jika kelembaban sudah melebihi 60%, pompa otomatis dimatikan untuk mencegah tanah menjadi terlalu basah.

Setelah proses pengendalian dilakukan, ESP32 mengirimkan data suhu udara, kelembaban tanah, dan tinggi tanaman ke server MQTT melalui jaringan WiFi. Data tersebut kemudian dapat ditampilkan dan dipantau secara *real-time* melalui *dashboard* monitoring IoT di komputer atau smartphone pengguna. Dengan demikian, sistem ini mampu bekerja secara otomatis dan terintegrasi, mulai dari proses pengukuran, pengambilan keputusan, pengendalian aktuator, hingga pengiriman data ke server. Seluruh rangkaian ini dirancang untuk membantu pengguna dalam memantau dan mengendalikan kondisi lingkungan tanaman secara efisien tanpa perlu intervensi manual.

3.2 FlowChart

Desain Flowchart alat monitoring dan kendali suhu secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3. 2 Flowchart Suhu dan Kelembaban

Flowchart pada gambar 3.2 di atas menjelaskan alur kerja sistem monitoring dan pengendalian suhu serta kelembaban otomatis pada *Greenhouse* berbasis *Internet of Things* (IoT). Proses dimulai dari inisialisasi sistem dengan membaca data dari sensor suhu. Data suhu yang diperoleh dibandingkan dengan ambang batas yang telah ditentukan, yaitu 28°C. Jika suhu udara terdeteksi lebih dari 28°C maka pompa misting akan diaktifkan untuk menurunkan suhu udara di dalam *Greenhouse*. Sebaliknya, apabila suhu turun di bawah 27°C, maka pompa misting akan dimatikan. Jika suhu berada dalam rentang normal, sistem akan mempertahankan status pompa sebelumnya tanpa perubahan.

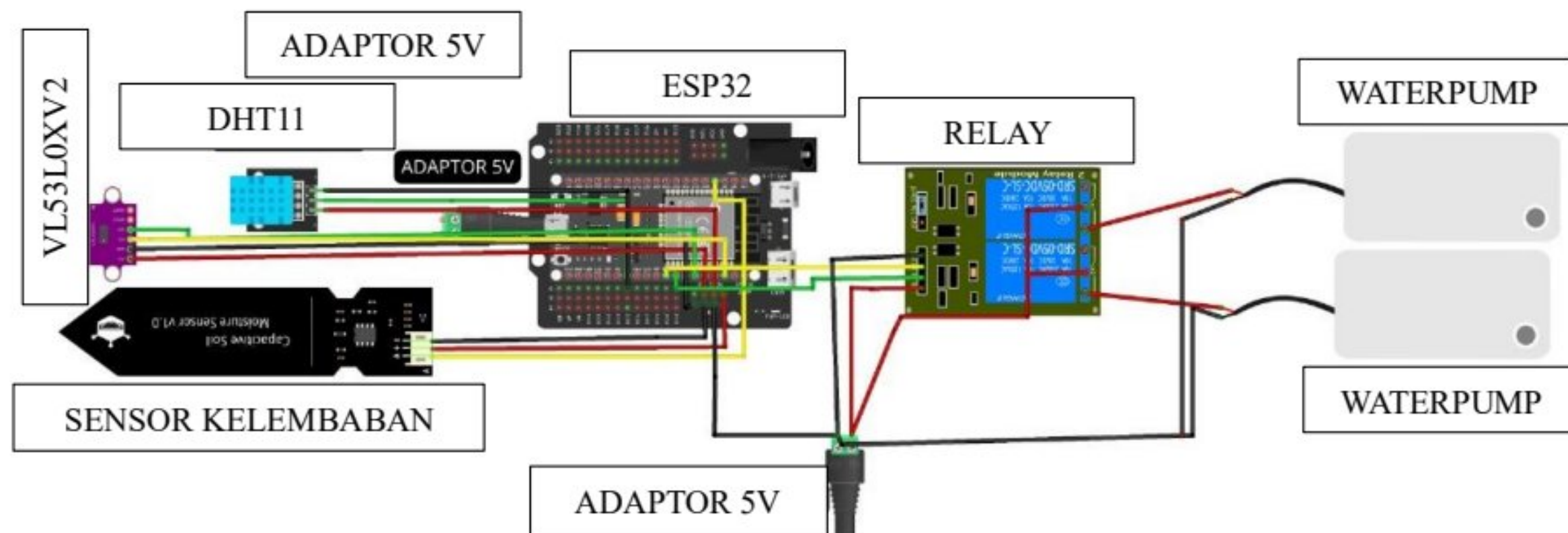
Selanjutnya, sistem membaca data dari sensor kelembaban tanah. Jika kelembaban tanah kurang dari 40%, maka pompa air akan diaktifkan untuk melakukan penyiraman otomatis. Namun apabila kelembaban tanah melebihi 60%, sistem akan mematikan pompa dan mempertahankan kondisi tanah agar tidak terlalu basah. Setelah proses pengendalian suhu dan kelembaban selesai, sistem akan membaca data tinggi tanaman dari sensor jarak (VL53L0X) untuk memantau pertumbuhan tanaman secara otomatis. Data dari seluruh sensor yaitu suhu, kelembaban tanah, dan tinggi tanaman akan dikirimkan melalui MQTT menuju dashboard monitoring *Internet of Things* (IoT) untuk ditampilkan secara real-time.

Semua data yang terbaca meliputi suhu udara, kelembaban tanah dan tinggi tanaman dapat diakses melalui dashboard monitoring berbasis *internet of things* (IoT), sehingga pengguna dapat memantau kondisi tanaman secara real-time dari jarak jauh menggunakan komputer atau smartphone.

Flowchart ini menggambarkan bahwa sistem bekerja secara otomatis dan berulang, dimana ESP32 membaca data sensor, melakukan pengendalian sesuai logika keputusan, mengirimkan data ke server, dan menampilkan hasil ke pengguna. Proses ini dirancang agar sistem mampu menjaga kestabilan suhu dan kelembaban tanah di dalam *Greenhouse*, sekaligus memantau pertumbuhan tanaman tanpa perlu pengawasan manual yang berkelanjutan.

3.3 Desain Rangkaian Elektrikal

Desain Rangkaian Elektrikal alat Monitoring dan Kendali suhu secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar berikut :

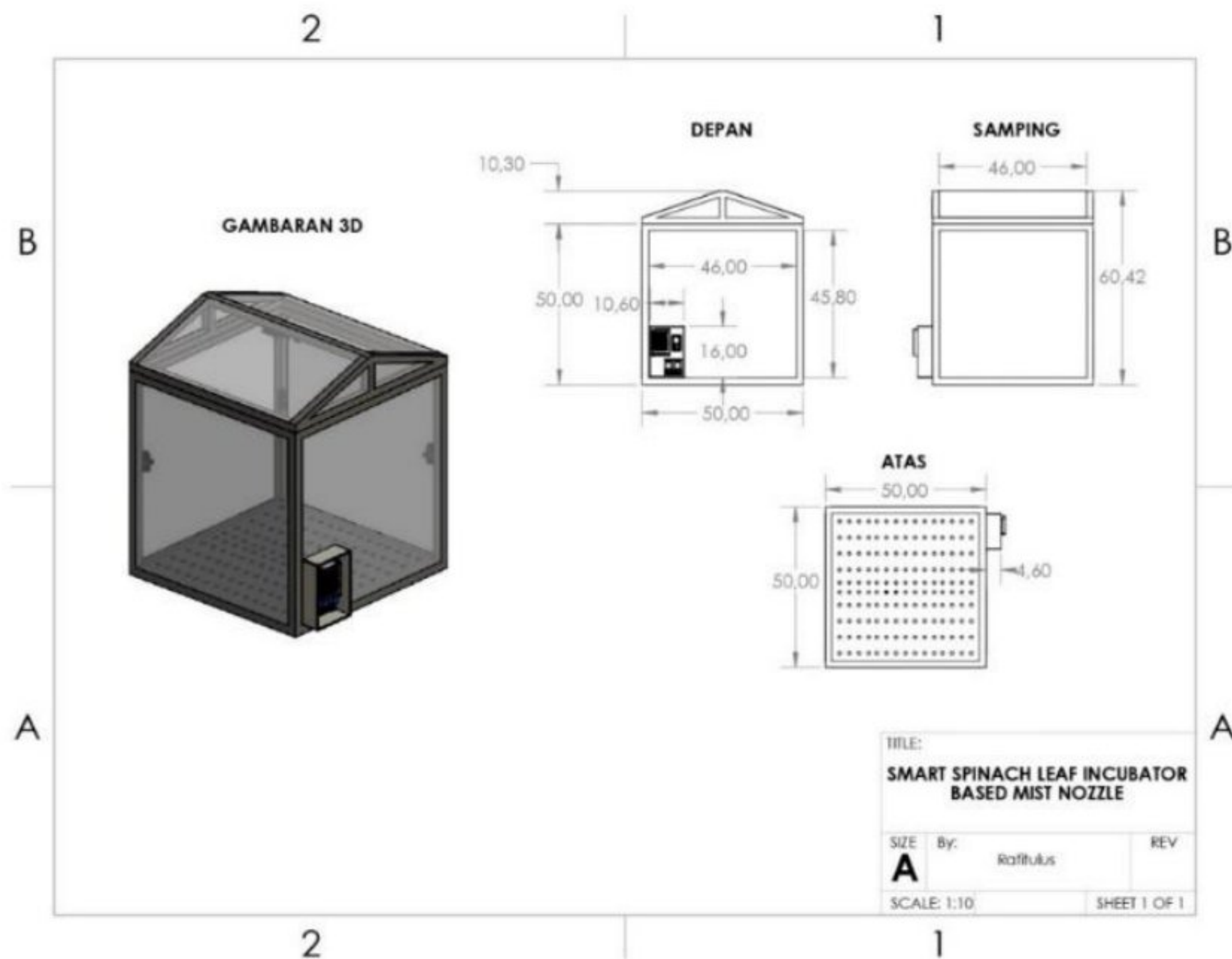


Gambar 3. 3 Rangkaian Elektrikal

Gambar 3.3 diatas menunjukkan wiring alat monitoring dan kendali suhu secara keseluruhan. Pada bagian input, sensor DHT11 yang berfungsi untuk membaca suhu pada *Greenhouse* dihubungkan ke pin GPIO 23 untuk mengirimkan data suhu udara, dengan suplai daya dari 5V dan GND. Sensor soil moisture kapasitif yan berfungsi untuk mengukur tingkat kelembaban tanah dihubungkan ke pin GPIO 36 atau ADC1 untuk membaca nilai kelembaban tanah dalam bentuk sinyal analog, pin VCC menyuplai 5V dan GND. Sensor VL53L0X v2 yang berfungsi untuk mengukur ketinggian tanaman terhubung ke jalur komunikasi I2C, di mana pin SDA sensor dihubungkan ke GPIO 21 dan SCL ke GPIO 22, dengan suplai 5V dan GND. Pada bagian output, sistem menggunakan relay 2 channel yang berfungsi untuk mengendalikan dua buah pompa air DC 5V, yaitu pompa misting untuk pendingin suhu dan pompa air untuk penyiraman tanah. Pompa suhu terhubung ke GPIO 18 dengan pin IN1 pada relay, sedangkan pompa kelembaban terhubung ke GPIO 19 dengan IN2 pada relay. Kedua relay diberikan daya dari adaptor 5V dan memiliki GND yang sama dengan ESP32. Masing-masing pompa dihubungkan melalui terminal NO (Normally Open) dan COM (Common) pada relay, sehingga pompa hanya aktif ketika relay menerima sinyal logika dari ESP32.

3.4 Desain 3D Perancangan Alat

Desain 3D alat monitoring dan kendali suhu secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3. 4 Desain Perancangan Alat

Struktur utama *prototype Greenhouse* berbentuk kubus dengan ukuran dasar 50 cm x 50 cm, dan dibuat setinggi 60 cm. pada bagian sisi dinding *Greenhouse* dibuat transparan menggunakan bahan akrilik agar cahaya matahari dapat masuk dan membantu proses fotosintesis tanaman. Pada sisi bagian depan terdapat *black box* yang berisikan penyimpanan modul elektronik yaitu ESP32 dan relay.

Secara umum, rancangan sistem ini dibuat untuk meniru lingkungan ideal bagi pertumbuhan bayam dengan pengaturan suhu dan kelembaban tanah secara otomatis. Bentuk yang ringkas, penggunaan material ringan dan tata letak komponen yang efisien memungkinkan sistem ini berfungsi sebagai *Greenhouse*.

3.5 Maksud Program

Tabel 3. 1 Fungsi Program

Program	Fungsi
connectToWifi()	Menghubungkan ESP32 ke jaringan WiFi
reconnectMQTT()	Menyambungkan ulang ESP32 ke server MQTT
rd_suhu()	Membaca suhu udara
rd_rh_tanah()	Membaca kelembaban tanah
rd_tinggi()	Mengukur tinggi tanaman
setup()	Inisialisasi awal sistem dan konfigurasi perangkat
loop()	Menjalankan proses utama sistem secara berulang

BAB IV PEMBAHASAN

4. Hasil Pengujian

Pengujian sistem monitoring dan kendali suhu serta kelembaban tanah pada *Greenhouse* berbasis NodeMCU ESP32 untuk tanaman bayam menunjukkan hasil yang memuaskan. Sistem ini berhasil menjaga suhu yang telah ditetapkan pada *Greenhouse*, menjaga kelembaban tanah sesuai dengan yang telah ditetapkan, serta sistem dapat mengukur tinggi tanaman. Pengujian yang dilakukan yaitu :

4.2 Pengujian Sensor DHT

Pengujian sensor DHT dilakukan untuk memastikan performa sensor dalam mendeteksi suhu. Media uji berupa membandingkan suhu sensor DHT dengan hygrometer atau termometer digital, dan termometer kayu. Pengujian diawali dengan kalibrasi sensor dht untuk mendapatkan nilai suhu ruangan pada kondisi real time, kemudian nilai keluaran suhu dht tersebut dibandingkan dengan pengukur suhu lainnya, yaitu termometer digital dan termometer kayu. Hasil pengujian ini menjadi dasar untuk menentukan akurasi sensor dan memastikan keandalannya sebelum digunakan. Pengujian sensor bertujuan mengetahui tingkat keakuratan dari sensor suhu DHT11. Pengujian ini dilakukan menggunakan 3 alat temperature suhu yang berbeda.

Langkah awal pengujian ini adalah mengetahui suhu lingkungan pada *Greenhouse*, dilakukan pengujian dengan 3 alat ukur berbeda, Untuk melakukan pengukuran suhu menggunakan sensor dht maka perlu menggunakan program sebagai berikut :

```
void rd_suhu() {  
    float h = dht.readHumidity();      // Baca kelembaban udara (%)  
    float t = dht.readTemperature();   // Baca suhu dalam °C  
  
    if (isnan(h) || isnan(t)) {  
        Serial.println("Sensor suhu gagal dibaca!");  
        return;  
    }  
}
```


}

Dari pengujian yang dilakukan didapatkan data seperti pada tabel 4.1 yang mana dibagi atas 3 kategori alat pengukuran suhu yaitu, termometer kayu, termometer digital, serta sensor dht11. Pengujian dilakukan di dua waktu berbeda dengan interval 15 – 20 menit.

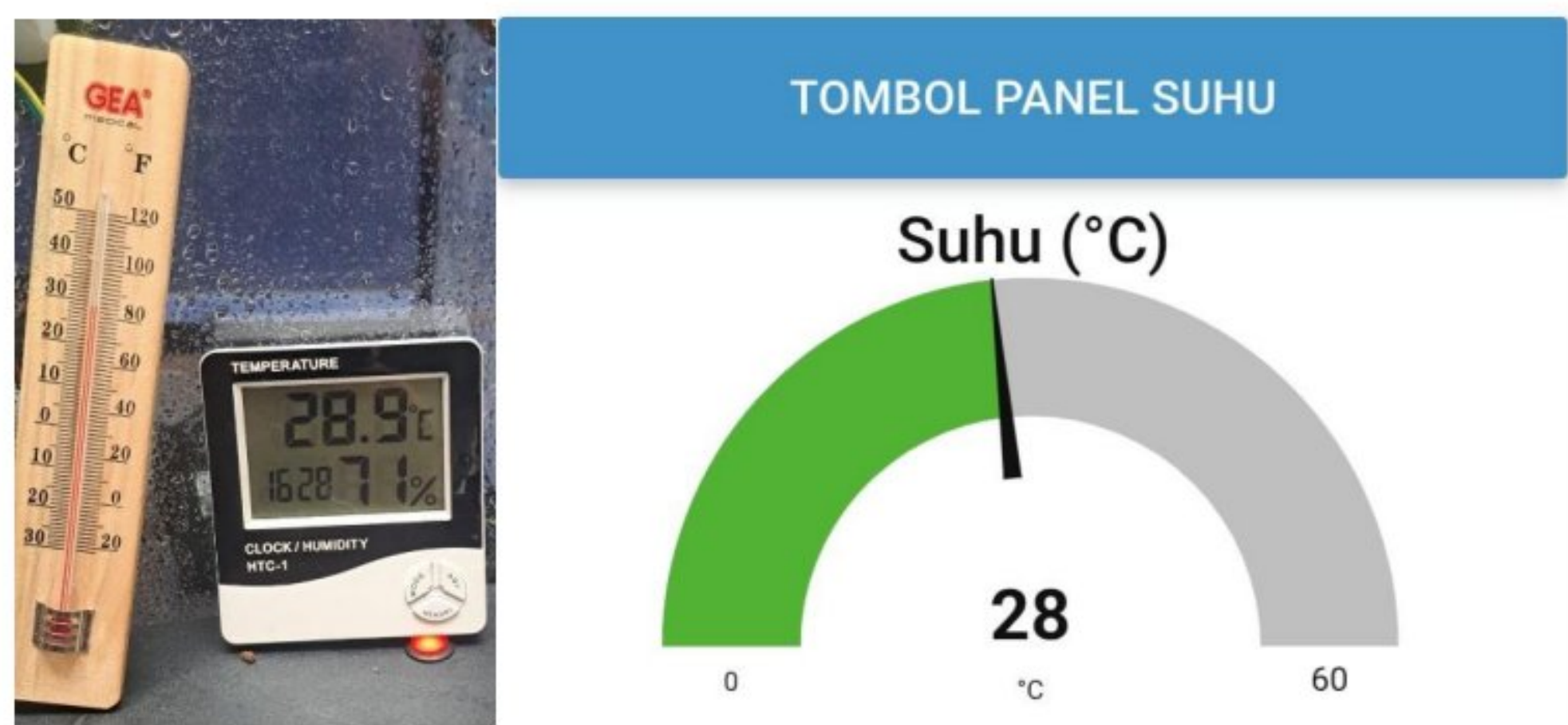
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Nilai ADC Sensor

Pukul (WIB)	Temperature Termometer Kayu	Temperature Termometer Digital	Temperature Sensor DHT11
16.13	29°C	28,9 °C	28,5 °C
16.28	29 °C	28,9 °C	28,0 °C
16.48	29 °C	28,9 °C	27,2 °C
21.28	26,5 °C	26,8 °C	26,7 °C
21.42	26,5 °C	26,6 °C	26,7 °C
22.01	26,5 °C	26,6 °C	26,7 °C

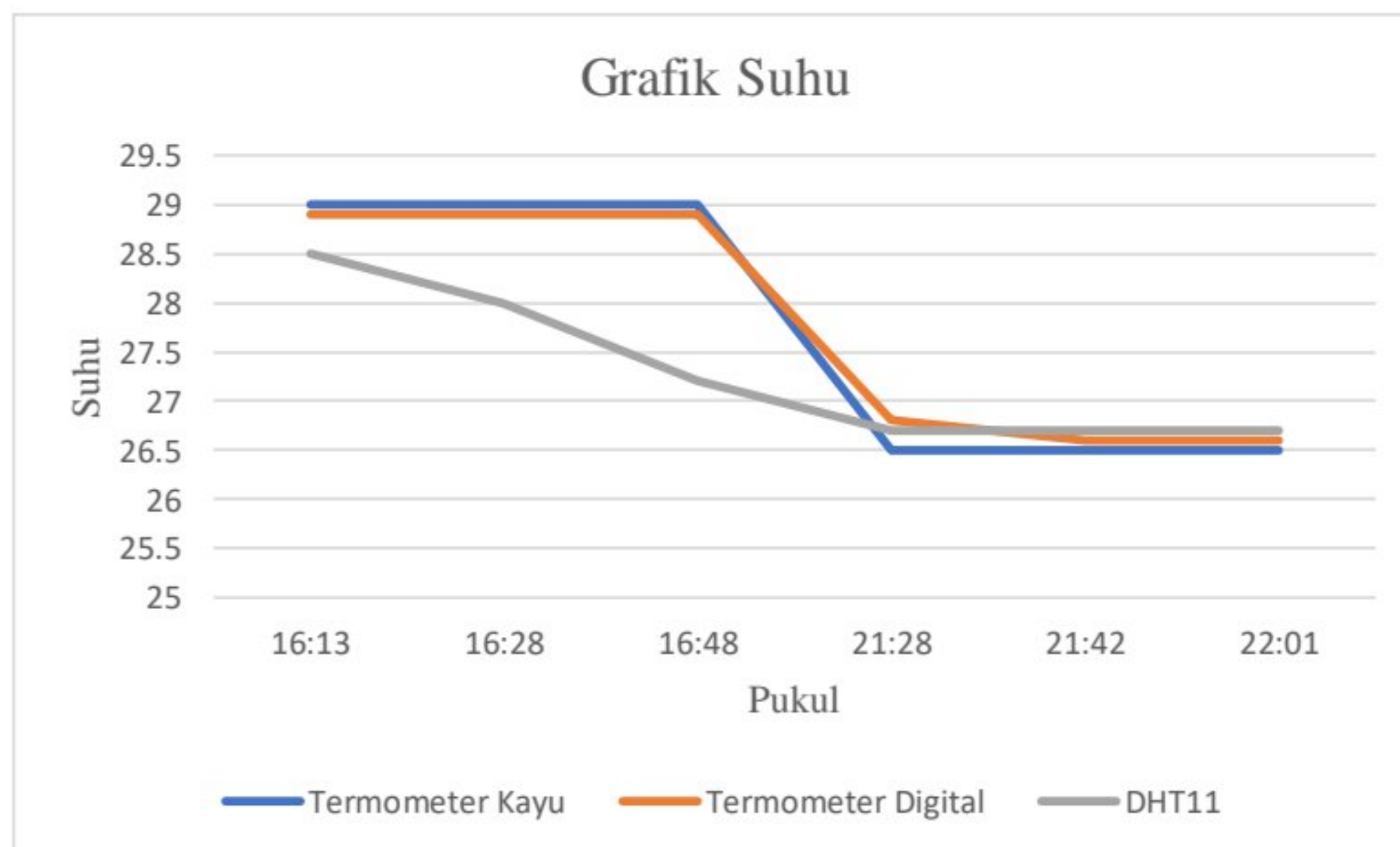
Hasil pengujian dari Tabel 4.1 diatas dapat dilihat berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan yang dilakukan, diketahui bahwa perbedaan atau jarak suhu yang terhitung pada masing masing alat ukur relatif kecil. Hasil pengujian tersebut membuktikan keakuratan sensor dht11. Pengujian validasi ini menggunakan metode pengukuran simultan di lokasi yang sama dengan interval waktu yang berbeda, untuk memastikan bahwa perbedaan pembacaan bukan disebabkan oleh faktor eksternal seperti perubahan kondisi lingkungan, melainkan benar-benar menunjukkan karakteristik akurasi masing-masing alat ukur.

Pada gambar 4.2 di bawah menunjukkan hasil perbandingan pembacaan suhu dari 3 alat ukur yang berbeda, pengujian ini dilakukan untuk memvalidasi akurasi dan reliabilitas sensor DHT11 yang digunakan dalam sistem monitoring *Greenhouse*. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa perbedaan nilai pembacaan antar alat ukur relatif kecil (error rata-rata di bawah 2%) yang membuktikan bahwa

sensor DHT11 layak dan dapat diandalkan untuk digunakan dalam sistem monitoring pada *Greenhouse*. Dengan demikian, keputusan kontrol otomatis yang diambil berdasarkan pembacaan sensor DHT11 dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.



Gambar 4. 1 Gambar hasil perbandingan suhu



Gambar 4. 2 Grafik hasil perbandingan sensor suhu

4.3 Pengujian Sensor Soil Moisture

Pengujian sensor soil moisture capacitive dilakukan untuk mengevaluasi performa sensor dalam mendeteksi tingkat kelembaban tanah. Media uji berupa tanah dengan kelembaban berbeda (kering dan basah), serta perangkat lunak Node

– RED untuk membaca dan menganalisis data. Pengujian diawali dengan kalibrasi sensor untuk mendapatkan nilai referensi kondisi kering dan basah. Sensor dimasukan ke tanah kering, kemudian keluarannya dicatat sebagai referensi kondisi kering. Pengujian ini juga mencakup evaluasi stabilitas pembacaan sensor, sensitifitas terhadap kadar kelembaban. Hasil pengujian ini menjadi dasar untuk menentukan akurasi sensor dan memastikan keandalannya sebelum digunakan. Pengujian sensor ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keakuratan dari sensor soil moisture capacitive dengan menggunakan nilai yang ada pada datasheet sensor. Pengujian ini dilakukan pada 1 media tanam.

Langkah awal pengujian ini adalah untuk mengetahui nilai ADC terhadap masing masing perbandingan berat air dengan berat tanah yang akan dimasukan kedalam tanah media uji, pengujain dilakukan dengan 5 variasi uji yaitu dengan 20 mL, 40mL, 60Ml, 80Ml, dan 100 mL. setelahnya dilakukan pengukuran nilai ADC dengan menggunakan program sebagai berikut :

```

}

void rd_rh_tanah(){

    rh=analogRead(36);

    Serial.print(String()+"Rh "+rh+" , ");

    Serial.println(rh);
}

```

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Sensor Soil Capacitive

Massa Air	Massa Tanah	Kelembaban Tanah	Nilai ADC
0 ml	100	0%	2995
20 ml	100	30%	2416

40 ml	100	49%	2047
60 ml	100	64%	1722
80 ml	100	85%	1476
100 ml	100	100%	1095

Hasil pengujian dari tabel 4.2 diatas dapat dilihat berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan yang dilakukan, diketahui bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara massa air yang ditambahkan ke dalam tanah dengan nilai ADC yang dibaca oleh sensor kelembaban tanah. Semakin banyak massa air yang ditambahkan, nilai ADC yang dihasilkan oleh sensor semakin menurun. Hal ini sejalan dengan prinsip kerja sensor resistif, di mana semakin basah tanah resistansinya menurun sehingga nilai ADC yang terbaca menjadi lebih kecil.

Konversi nilai ADC menjadi kelembaban tanah (%) menggunakan rumus ekponensial menghasilkan nilai kelembaban yang meningkat secara bertahap dan konsisten sesuai dengan kenaikan massa air. Nilai kelembaban dari perhitungan ini menunjukan kecenderungan yang realistis dan mendekati nilai kelembaban tanah berdasarkan pengukuran manual, meskipun nilai manual terkesan lebih diskret atau bertingkat. Perbedaan kecil yang muncul antara nilai manual dan hasil perhitungan dapat disebabkan oleh keterbatasan alat ukur, variasi distribusi air dalam tanah, atau ketidaktepatan pencampuran air dengan tanah selama proses uji coba.

Secara keseluruhan, rumus eksponensial yang digunakan mampu merepresentasikan hubungan antara kadar air dan pembacaan sensor dengan baik. Nilai kelembaban hasil rumus dapat digunakan untuk pengambilan keputusan otomatis dalam sistem monitoring, seperti pengontrol pompa air berbasis kelembaban tanah. Dengan kata lain, metode ini cukup akurat dan efektif untuk digunakan dalam aplikasi pertanian berbasis mikrokontroler.

Pada Tabel 4.2 menunjukan hubungan antara jumlah air yang ditambahkan ke tanah, kelembaban tanah yang diukur dalam persen, dan nilai air yang terbaca oleh sensor kelembaban tanah melalui ADC (Analog to Digital Converter). Dalam

setiap pengukuran, massa tanah dijaga tetap sebanyak 100 gram, sementara volume air yang ditambahkan memiliki 5 variasi yaitu dimulai dari penambahan air 20ml, 40ml, 60ml, 80ml, 100ml.



Gambar 4. 3 Grafik Hasil Pembacaan Nilai ADC Terhadap Kondisi Tanah

Peningkatan kelembaban ini memberikan dampak langsung terhadap nilai yang dibaca oleh sensor. Nilai ADC yang tercatat menunjukkan penurunan seiring dengan naiknya kadar air dalam tanah. Hal ini dikarenakan karakteristik sensor kelembaban tanah tipe kapasitif, dimana semakin basah tanah maka kapasitansinya meningkat dan menyebabkan nilai tegangan output sensor yang masuk ke ADC menjadi lebih rendah.

Pada Gambar 4.3 grafik menggambarkan hubungan antara nilai pembacaan ADC dari sensor kelembaban tanah pada sumbu X dan kelembaban tanah dalam persen pada sumbu Y. dari grafik tersebut terlihat bahwa terdapat hubungan linier negatif antara kedua variabel tersebut, yang berarti semakin tinggi nilai ADC maka semakin rendah tingkat kelembaban yang terukur. Dalam konteks ini, X adalah nilai ADC dan Y adalah kelembaban tanah dalam persen. Koefisien negatif menunjukkan bahwa saat nilai ADC meningkat, nilai kelembaban tanah menurun. Ini sesuai dengan prinsip kerja sensor kapasitif, di mana kapasitansi meningkat saat tanah lebih basah menyebabkan tegangan output menurun. Untuk mengkonversi nilai ADC menjadi persentase digunakan konversi linear, rumus linear dari ADC ke persentase sebagai berikut:

$$kelembaban = \frac{ADC_{kering} - ADC_{baca}}{ADC_{kering} - ADC_{basah}} \times 100$$

Sensor ini juga menunjukkan keandalan selama periode pengujian berkelanjutan, dengan kinerja yang konsisten. Pengujian ini mengkonfirmasi bahwa sensor soil moisture kapasitif cocok untuk digunakan dalam sistem irigasi otomatis, membantu menjaga keseimbangan kelembaban tanah dan memastikan kebutuhan air tanaman terpenuhi dengan efisien.

4.4 Pengujian Sensor VL53L0X

Pengujian sensor VL53L0X V2 dilakukan untuk mengevaluasi performa sensor dalam mendeteksi ukuran ketinggian tanaman. Media uji berupa beberapa tanaman dengan tinggi berbeda, serta perangkat lunak Node-RED untuk membaca dan menganalisis data. Pengujian diawali dengan kalibrasi sensor untuk mendapatkan nilai ketinggian tanaman. Lalu nilai yang keluar dibandingkan dengan nilai tanaman lainnya. Pengujian ini mencakup evaluasi stabilitas pembacaan sensor, serta konsistensinya dalam mengukur ketinggian tanaman. Hasil pengujian ini menjadi dasar untuk menentukan akurasi sensor dan memastikan keandalannya sebelum digunakan. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sensor VL53L0X V2 dalam mengukur ketinggian tanaman.

Uji validasi dan akurasi sensor ketinggian dilakukan dengan pengukuran perbandingan menggunakan penggaris manual pada 3 media tanam. Hasil pengukuran ditampilkan melalui dashboard dengan menggunakan program berikut:

```
}

void rd_tinggi(){
    Serial.print("Distance in cm: ");
    tinggi=lox.readRange();
    Serial.println(tinggi);
}
```

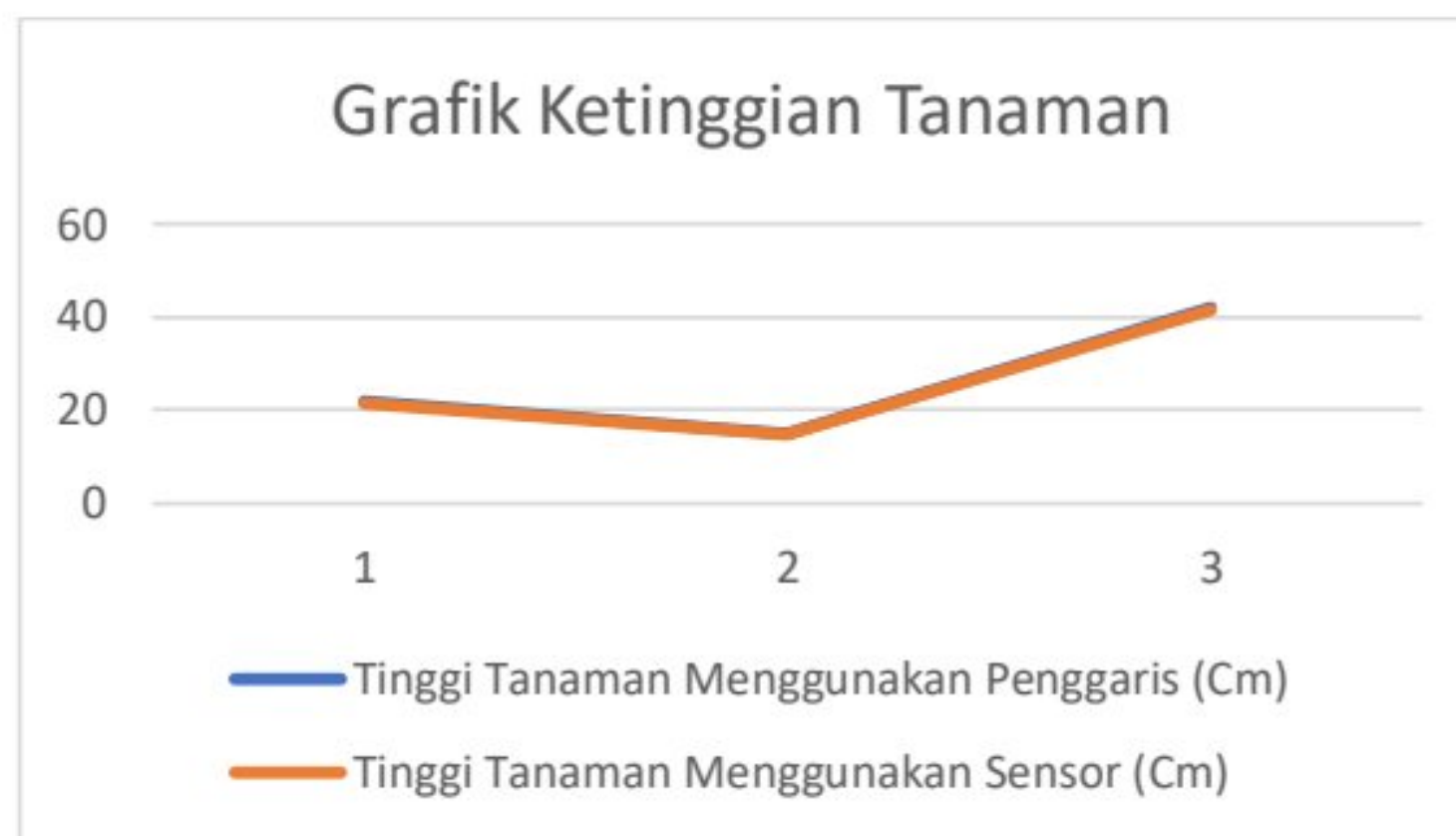

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Sensor Ketinggian

NO	Tinggi Tanaman Menggunakan Penggaris	Tinggi Tanaman Menggunakan Sensor	Selisih	Persentase Error
1	22 Cm	21,7 Cm	0,3	1,36 %
2	30 Cm	30.2 Cm	0.2	0,67%
3	42 Cm	41,5 Cm	0,5	1,19%

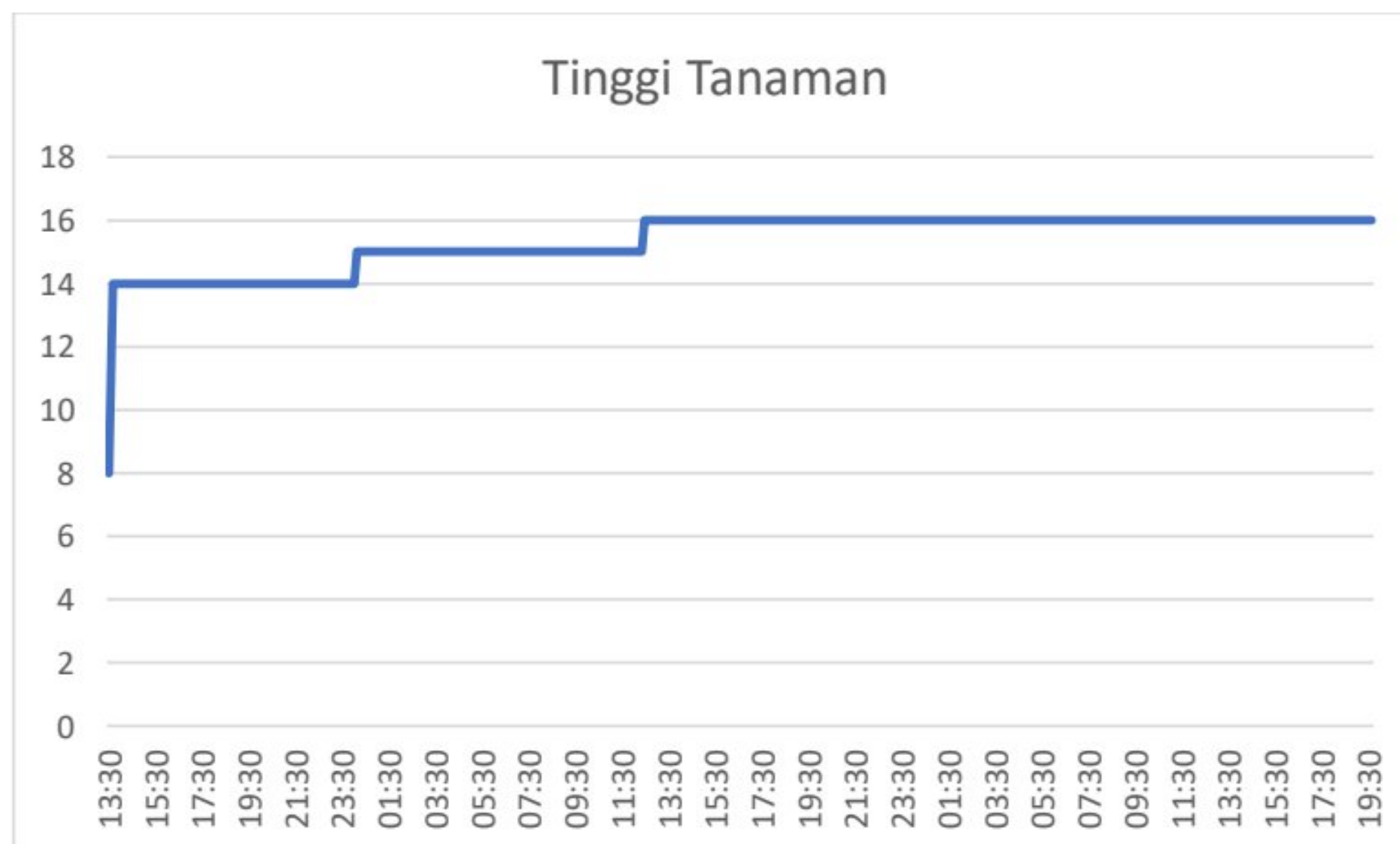
Berdasarkan data dari tabel 4.3 pengujian sensor ketinggian diatas, rata rata persentase error antara pengukuran sensor dan pengukuran manual adalah 1,29%. Menunjukan bahwa sensor VL53L0X V2 memiliki akurasi yang sangat baik dalam mengukur ketinggian tanaman. Berdasarkan standar ISO atau penelitian terkait, sensor pengukuran jarak untuk aplikasi pertanian dianggap akurat jika memiliki error <5%. Standar VL53L0XV2 dengan rata-rata error 1,29% jauh melampaui standar minimum ini.



Gambar 4. 4 Hasil pengukuran ketinggian



Gambar 4. 5 Grafik Hasil Pembacaan Nilai Ketinggian Tanaman



Gambar 4. 6 Grafik Pengujian Sensor Ketinggian

Pada gambar 4.5 di atas menunjukkan grafik hasil perbandingan antara tinggi tanaman yang diukur menggunakan penggaris manual dengan hasil yang diukur menggunakan pembacaan sensor VL53L0X V2. Dari grafik diatas terlihat bahwa kedua metode pengukuran menunjukkan tren yang konsisten dan memiliki selisih yang sangat kecil.

Berdasarkan hasil pengujian berkelanjutan pada gambar 4.6, peningkatan tinggi tanaman dari 14 cm hingga 16 cm selama periode pengujian menunjukkan bahwa kondisi lingkungan yang dijaga oleh sistem (suhu dan kelembaban optimal) berhasil mendukung pertumbuhan tanaman dengan baik. Sensor VL53L0XV2

terbukti efektif dalam mendokumentasikan pertumbuhan ini secara akurat dan objektif, sehingga dapat menjadi salah satu parameter penting dalam evaluasi keberhasilan sistem pada *Greenhouse* ini.

4.5 Pengujian Pada Relay

Pengujian relay dilakukan untuk memastikan bahwa komponen ini berfungsi dengan baik dalam mengendalikan aliran arus listrik pada rangkaian elektronik atau listrik. Proses pengujian dimulai dengan menyiapkan relay, sumber daya, perangkat pengontrol (ESP32) serta beban listrik yang akan dikendalikan (pompa 12v, 5v). pengujian dilakukan dengan memeriksa koneksi pada pin relay, yaitu pin koil (untuk mengaktifkan relay) dan pin kontak (NO, NC, dan COM) setelahnya dilanjutkan dengan mengukur konektivitas pada pin kontak menggunakan multimeter untuk memastikan bahwa pin NO (*Normally Open*) terhubung dengan in COM (Common) saat relay aktif, dan pin NC (*Normally Closed*) terputus.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Relay

No	Trigger	Kondisi Awal	Kondisi Akhir
1	HIGH	NO	Close
2	LOW	NO	Open
3	HIGH	NC	Close
4	LOW	NC	Open

Dari hasil pengujian pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa relay berfungsi dengan baik sesuai spesifikasi dasar. Ketika sinyal trigger HIGH diberikan, relay aktif dan mengubah kondisi kontaknya (NO menjadi close dan NC menjadi open). Sebaliknya, ketika sinyal trigger LOW diberikan, relay tidak aktif dan kembali ke kondisi normal (NO tetap open dan NC tetap close). Hal ini mengindikasikan bahwa mekanisme switching relay berjalan dengan stabil dan sesuai dengan prinsip kerja relay elektromekanism.

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Relay Kontrol Pompa

No	Trigger	Kondisi Awal	Pompa
1	HIGH	NO	ON
2	LOW	NO	OFF
3	HIGH	NC	OFF
4	LOW	NC	ON

Tabel 4.5 merupakan hasil pengujian relay untuk kontrol pompa. Dari hasil pengujian yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa relay ini dapat diandalkan untuk digunakan dalam sistem kontrol yang membutuhkan switching listrik. Berdasarkan sinyal trigger dalam hal pengujian ini adalah pompa.

5. Pengujian Relay pada Pompa Suhu dan Pompa Kelembaban Tanah

Pengujian relay bertujuan untuk mengetahui apakah relay bekerja sesuai dengan perintah yang diberikan melalui program. Pada alat ini relay pompa suhu akan aktif apabila suhu diatas 28°C dan relay pompa Kelembaban dibawah 40%. Hasil pengujian relay dapat dilihat pada Tabel 4.8

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Kontrol Pompa Suhu dengan Relay

SUHU (°C)	STATUS POMPA SUHU	RELAY
27,9	OFF	TIDAK AKTIF
27,9	OFF	TIDAK AKTIF
27,9	OFF	TIDAK AKTIF
28	ON	AKTIF
28	ON	AKTIF
28	ON	AKTIF

28	ON	AKTIF
27,9	OFF	TIDAK AKTIF
27,9	OFF	TIDAK AKTIF
27,8	OFF	TIDAK AKTIF
27,8	OFF	TIDAK AKTIF

Dari hasil pengujian pada Tabel 4.6 dapat dikatakan bahwa relay dapat bekerja sesuai dengan kebutuhan sistem, yaitu apabila suhu diatas 28°C maka relay akan mengaktifkan pompa hingga suhu > 28°C. Selanjutnya pengujian yang sama dilakukan pada kontrol Pompa air untuk kelembaban tanah. Pada alat ini relay akan aktif apabila kelembaban dibawah 40%. Hasil pengujian relay dapat dilihat pada Tabel 4.7

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Kontrol Pompa Air dengan Relay

KELEMBABAN	STATUS POMPA KELEMBABAN	RELAY
45	OFF	TIDAK AKTIF
44	OFF	TIDAK AKTIF
43	OFF	TIDAK AKTIF
42	OFF	TIDAK AKTIF
41	OFF	TIDAK AKTIF

40	OFF	TIDAK AKTIF
39	ON	AKTIF
40	ON	AKTIF
41	ON	AKTIF
42	ON	AKTIF

Dari hasil pengujian tabel 4.7 dapat dikatakan bahwa relay dapat bekerja sesuai dengan kebutuhan pada sistem, yaitu apabila kelembaban dibawah 40% maka relay akan mengaktifkan pompa hingga kelembaban >60%.

- Sensor DHT11 berhasil mendeteksi suhu ruangan secara akurat. Ketika suhu ruangan melebihi batas yang telah ditetapkan ($>28^{\circ}\text{C}$), sistem secara otomatis mengaktifkan pompa air dan menurunkan suhu ruangan dengan cara pendinginan evaporatif.
- Sistem mampu menjaga suhu udara didalam *Greenhouse* pada kisaran yang optimal untuk pertumbuhan.
- Pada pengujian dengan kondisi suhu lingkungan diatas 28°C , waktu penurunan suhu tidak dapat ditentukan, tergantung dengan kondisi awal suhu saat alat dinyalakan.
- Soil moisture berhasil mendeteksi tingkat kelembaban tanah secara akurat. Ketika kadar tanah turun dibawah ambang batas yang telah ditetapkan ($<40\%$), sistem secara otomatis mengaktifkan pompa air dan menyirami tanaman bayam.
- Pada pengujian dengan kondisi tanah yang kering, waktu aktivasi pompa air rata – rata memakan waktu sekitar 15 detik hingga mencapai tingkat kelembaban optimal (40% - 60%)

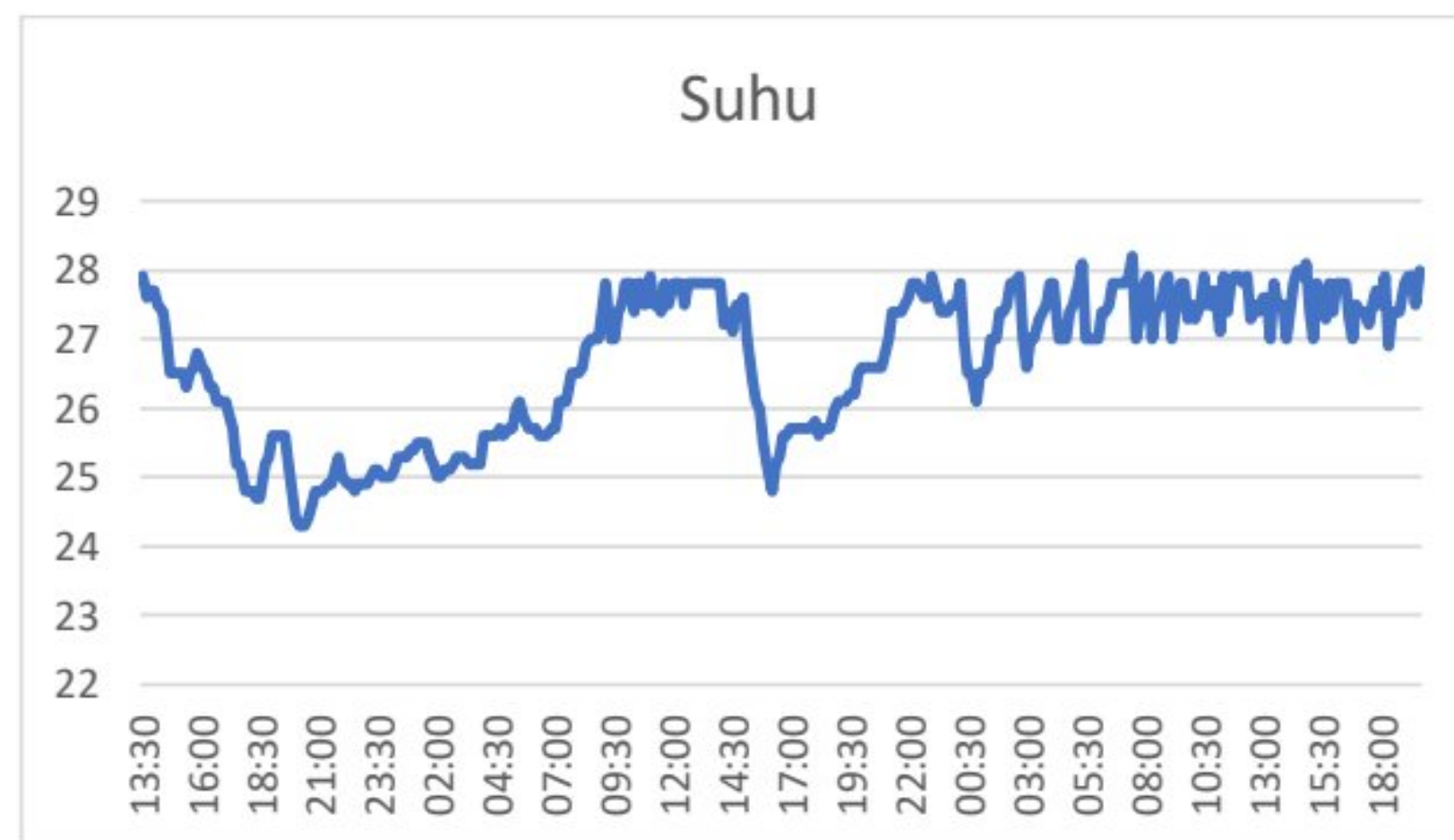
- Sistem mampu menjaga kelembaban tanah di sekitar tanaman bayam pada kisaran yang optimal untuk pertumbuhan, dengan siklus penyiraman yang konsisten.

4.6 Pengujian Alat Keseluruhan

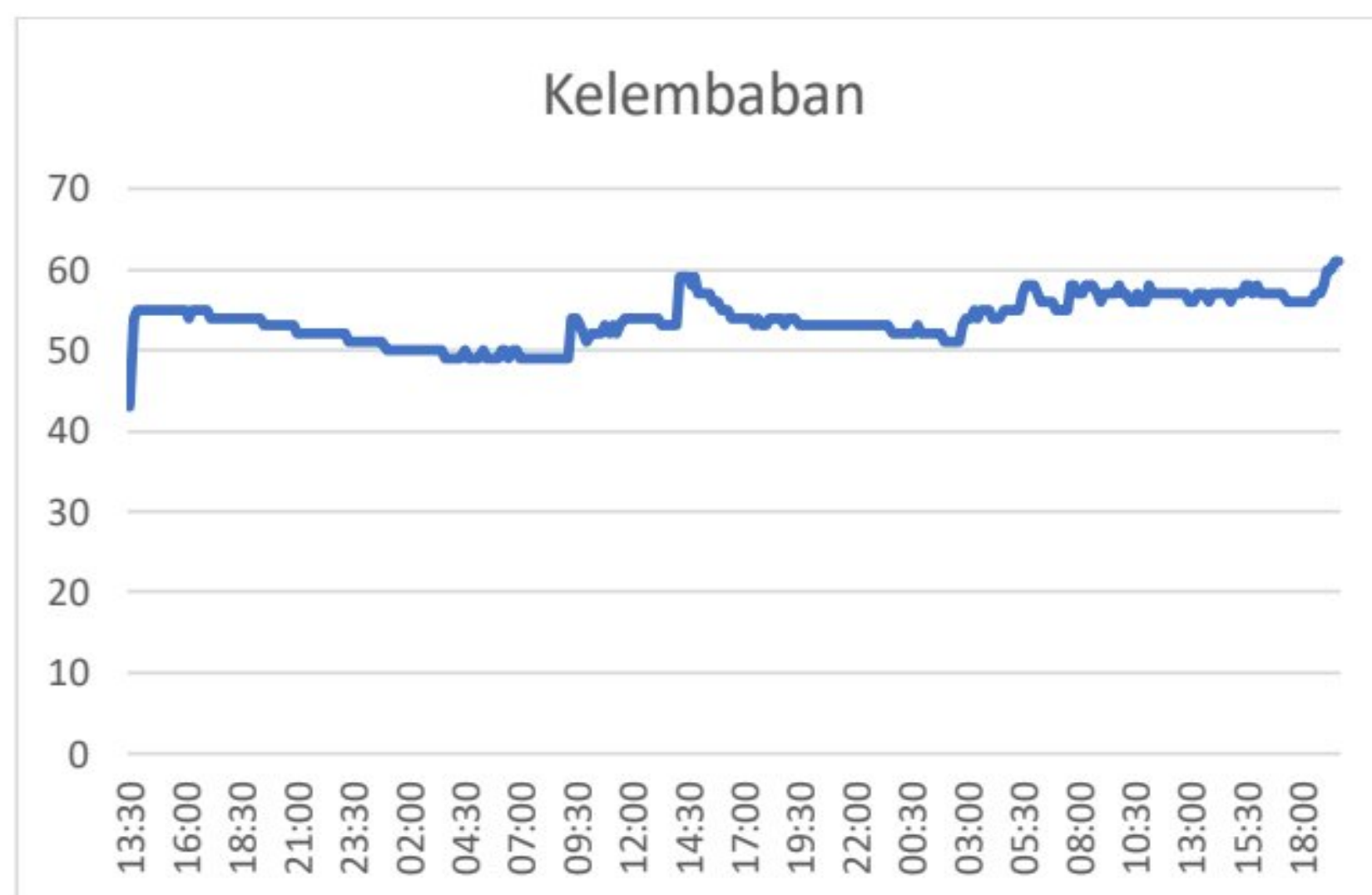
Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah sistem monitoring dan kendali suhu dapat berjalan secara otomatis serta andal dalam situasi apapun. Pengujian dilakukan dengan menyalakan alat seharian penuh. Data realtime yang terkirim akan tercatat di logger agar bisa dilihat hasilnya atau dapat di monitoring secara realtime. Data yang terkirim di logger dibuat menjadi per 10 menit.

Sistem yang dirancang pada *prototype* ini menerapkan sistem kontrol *close loop* (*closed-loop control system*) atau sistem kontrol umpan balik. Sistem close loop memiliki kemampuan untuk membaca kondisi aktual melalui sensor, membandingkan dengan setpoint yang telah ditentukan, mengambil keputusan kontrol berdasarkan selisih antara kondisi aktual dan setpoint, mengaktifkan aktuator untuk mengoreksi penyimpangan, memantau hasil koreksi secara kontinyu dan melakukan penyesuaian kembali jika diperlukan.

Sistem kontrol *close loop* pada penelitian ini diimplementasikan pada dua parameter utama, yaitu kontrol suhu udara dan kontrol kelembaban tanah. Keunggulan sistem closeloop dalam penelitian ini adalah sistem dapat secara otomatis mendeteksi penyimpangan dari kondisi optimal, tidak memerlukan intervensi manual untuk penyesuaian, lalu sistem dapat mengatasi perubahan kondisi lingkungan yang dinamis, feedback kontinyu memastikan kondisi lingkungan selalu mendekati setpoint, error steady state minimal karena koreksi terus menerus. Efisiensi energi karena aktuator hanya aktif saat diperlukan, hysteresis mencegah switching yang terlalu sering, semua data sensor dan aktuator tercatat pada data logger.



Gambar 4. 7 Grafik Suhu Hasil Pengujian Alat Keseluruhan



Gambar 4. 8 Grafik Kelembaban Hasil Pengujian Alat Keseluruhan



Gambar 4. 9 Grafik Tinggi Tanaman Hasil Pengujian Alat Keseluruhan

Sistem yang dirancang dalam penelitian ini menerapkan mekanisme kontrol close-loop dengan feedback kontinu yang memastikan kondisi pada *Greenhouse* selalu mendekati nilai optimal. Mekanisme feedback ini berlangsung secara otomatis tanpa memerlukan intervensi manual, dimana sensor membaca kondisi aktual, membandingkannya dengan setpoint yang telah ditentukan, kemudian mengaktifkan aktuator yang sesuai untuk melakukan koreksi.

Pada kontrol suhu, sensor DHT11 membaca suhu aktual secara real-time setiap satu detik. Data suhu yang terbaca kemudian dibandingkan dengan nilai setpoint sebesar 28°C. ketika suhu terukur melebihi 28°C, sistem akan mengaktifkan relay pompa misting yang kemudian menyemburkan kabut air untuk menurunkan suhu melalui proses pendinginan evaporatif. Sensor terus memantau perubahan suhu yang terjadi, dan ketika suhu sudah turun hingga 27°C atau dibawahnya, sistem akan menonaktifkan pompa. Penggunaan hysteresis sebesar 1°C antara 27°C dan 28°C sangat penting untuk mencegah switching yang terlalu sering, karena aktivasi relay yang berlebihan dapat memperpendek umur komponen dan menyebabkan ketidakstabilan sistem.

Mekanisme serupa juga diterapkan pada kontrol kelembaban tanah. Sensor capacitive soil moisture membaca tingkat kelembaban tanah setiap satu detik dengan mengukur nilai ADC yang kemudian dikonversi menjadi persentase kelembaban menggunakan formula linear. Ketika kelembaban terukur kurang dari 40%, sistem akan mengaktifkan relay pompa sehingga air mengalir ke tanaman menggunakan irigasi tetes dan meningkatkan kelembaban. Sensor terus memantau peningkatan kelembaban yang terjadi, dan pompa akan dimatikan secara otomatis setelah kelembaban mencapai 60%. Range operasi antara 40% hingga 60% ini dipilih berdasarkan literatur untuk memastikan tanah tidak terlalu kering yang dapat menghambat pertumbuhan, namun juga tidak tergenang yang dapat menyebabkan pembusukan akar.

Selain kedua parameter kontrol tersebut, sistem juga dilengkapi dengan monitoring pertumbuhan tanaman menggunakan sensor VL53L0XV2 yang membaca jarak setiap setengah detik. Sistem menghitung tinggi tanaman dengan

cara mengurangi tinggi pemasangan sensor dengan jarak yang terukur oleh sensor. Informasi pertumbuhan ini sangat membantu dalam evaluasi efektivitas sistem secara keseluruhan.

Relevansi sistem ini dapat dilihat dari validasi kondisi optimal berdasarkan literatur ilmiah yang ada. Penelitian yang dilakukan oleh Ekoputranto pada tahun 2016 menyatakan bahwa suhu optimal untuk pertumbuhan bayam adalah 28°C. Pada gambar 4.7 pengujian sistem menunjukkan bahwa rata-rata suhu dapat dijaga pada 27,7°C dengan standar deviasi plus minus 0,5°C. sistem berhasil mencegah suhu melebihi 28°C selama periode pengujian. Data ini membuktikan bahwa sistem mampu menjaga stabilitas suhu sesuai dengan rekomendasi literatur.

Literatur yang ditulis oleh Rahman dan Santika tahun 2022 menyebutkan bahwa kelembaban tanah optimal untuk bayam berada pada kisaran 40% hingga 60%. Pada gambar 4.8 menunjukkan kelembaban rata-rata sebesar 53,8% yang berada tepat di tengah range optimal. Selama periode pengujian tidak ada kejadian dimana kelembaban turun dibawah 35% atau naik diatas 65%, yang menunjukkan bahwa siklus penyiraman otomatis berjalan dengan efektif dalam menjaga konsistensi kelembaban tanah.

Data yang dikumpulkan dari sensor juga memberikan kontribusi terhadap pengetahuan ilmiah, khususnya dalam memahami korelasi antara suhu dengan pertumbuhan tanaman. Data menunjukkan bahwa periode dimana suhu stabil antara 26°C hingga 27°C, pertumbuhan tanaman dapat mencapai dua sentimeter dalam waktu 48 jam. Temuan ini mendukung hipotesis bahwa stabilitas suhu lebih penting daripada nilai absolut suhu itu sendiri, karena fluktuasi suhu yang besar menyebabkan stress pada tanaman meskipun rata-ratanya berada pada nilai optimal.

Hasil output tanaman selama periode pengujian menunjukkan indikator pertumbuhan yang sehat. Secara visual dan morfologi, tanaman bayam menunjukkan tinggi dari 14 cm menjadi 16 cm dalam waktu 48 jam, yang merupakan pertambahan sebesar 14,3%. Kondisi daun hijau segar tanpa ada tanda-tanda klorosis atau layu yang biasanya muncul ketika tanaman mengalami stress

lingkungan. Tekstur daun terasa empuk yang menandakan bahwa tanaman mendapat hidrasi yang optimal, tidak kekurangan air namun juga tidak tergenang. Batang tanaman tumbuh kokoh tanpa menunjukkan gejala etiolasi yaitu pemanjangan batang yang abnormal akibat kekurangan cahaya atau kondisi lingkungan yang tidak sesuai. Yang lebih penting lagi, tanaman tidak menunjukkan tanda-tanda bolting atau pembungaan prematur yang biasanya terjadi pada tanaman bayam ketika suhu terlalu tinggi yaitu diatas 30°C.

Perbandingan antara kondisi tanaman di dalam *Greenhouse* yang terkontrol dengan pengamatan umum tanaman di luar *Greenhouse* menunjukkan perbedaan yang signifikan. Pertumbuhan tinggi tanaman di dalam *Greenhouse* mencapai 2 cm dalam dua hari, sementara berdasarkan pengamatan umum, tanaman di luar *Greenhouse* hanya tumbuh sekitar 1 hingga 1,5 cm dengan pola yang tidak teratur. Warna daun tanaman di dalam *Greenhouse* tampak hijau seragam pada semua bagian tanaman, sedangkan tanaman di luar *Greenhouse* cenderung menunjukkan warna yang pucat atau kekuningan terutama pada daun-daun tua. Tekstur daun tanaman *Greenhouse* terasa empuk, berbeda dengan tanaman luar yang sering terlihat layu terutama pada siang hari ketika suhu tinggi dan penguapan meningkat.

Dari segi kelembaban media tanam, sistem *Greenhouse* mampu menjaga konsistensi pada kisaran 40% hingga 60%, sementara tanaman di luar *Greenhouse* mengalami fluktuasi kelembaban yang sangat besar antara 20% hingga 80% tergantung cuaca dan frekuensi penyiraman manual. Suhu di sekitar tanaman juga jauh lebih stabil di dalam *Greenhouse* dibandingkan dengan kondisi diluar yang tidak terkontrol dengan fluktuasi antara 22°C hingga 35°C. Tingkat stres lingkungan yang dialami tanaman di dalam *Greenhouse* sangat minimal karena terlindungi dari angin kencang, hujan deras, dan paparan sinar matahari langsung yang berlebihan, sementara tanaman di luar *Greenhouse* menghadapi semua faktor stress tersebut secara langsung.

Sebagai kesimpulan dari bagian ini, sistem monitoring dan kendali yang dirancang terbukti efektif dalam menjaga kondisi lingkungan optimal untuk pertumbuhan bayam. Mekanisme feedback *closed-loop* yang diterapkan memastikan respons

yang cepat dan akurat terhadap setiap perubahan kondisi lingkungan, sementara data yang dikumpulkan dari berbagai sensor memberikan bukti empiris yang kuat untuk mendukung literatur yang ada terkait kondisi optimal pertumbuhan bayam. Pertumbuhan bayam sebesar 14,3% dalam waktu 48 jam dan kondisi morfologi yang sangat sehat mengindikasikan bahwa sistem ini mampu mendukung produktifitas yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan metode konvensional. Perbandingan dengan kondisi tanaman di luar *Greenhouse* menunjukkan keunggulan yang signifikan dalam hal stabilitas lingkungan, kesehatan tanaman, dan prediktabilitas hasil panen. Dengan demikian, sistem ini memiliki potensi besar untuk diaplikasikan dalam skala yang lebih luas sebagai solusi untuk meningkatkan produktivitas pertanian tanaman sayuran khususnya bayam.

BAB V

PENUTUP

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan pada “SISTEM MONITORING DAN PENGENDALI SUHU SERTA KELEMBABAN TANAH PADA *GREENHOUSE* BERBASIS NODEMCU ESP32 UNTUK TUMBUHAN BAYAM”, penulis dapat memberikan kesimpulan bahwa :

1. Sistem monitoring dan pengendalian yang dirancang berhasil bekerja secara otomatis dan real-time dalam mengatur kondisi lingkungan *Greenhouse*. Sistem mampu memantau tiga parameter utama yaitu suhu udara, kelembaban tanah dan tinggi tanaman dengan akurasi yang tergolong cukup baik.
2. Sensor DHT11 menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dalam mengukur suhu dengan rata-rata error sebesar 1,29% yang dibandingkan dengan termometer kayu dan termometer digital. Sistem pengendalian suhu bekerja efektif dengan mengaktifkan pompa misting ketika suhu melebihi 28 °C dan mematikan kembali ketika suhu sudah berada dibawah 27°C.
3. Sensor Capacitive Soil Moisture berhasil mendeteksi kelembaban tanah dengan baik menggunakan konversi linear dari nilai ADC ke persentase kelembaban. Sistem pengendalian kelembaban bekerja dengan baik, mengaktifkan pompa air ketika kelembaban turun dibawah 40% dan mematakannya setelah mencapai 60%.
4. Sensor VL53L0XV2 menunjukkan performa yang sangat baik dalam mengukur tinggi tanaman dengan rata-rata error hanya 1,29%. Sistem berhasil memantau pertumbuhan tanaman dari 14cm hingga 16cm selama periode pengujian, membuktikan bahwa kondisi lingkungan yang terkendali mendukung pertumbuhan optimal tanaman bayam.

5. Sistem relay bekerja dengan baik sesuai logika kontrol yang diprogram, menunjukkan respon yang stabil terhadap perubahan kondisi sensor selama periode pengujian.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang telah diuraikan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan sistem lebih lanjut:

1. Sistem diperluas dengan menambahkan sensor lain, seperti sensor untuk memonitoring penyimpanan air di tanki penyimpanan.
2. Mengintegrasikan sistem dengan sumber energi terbarukan seperti panel surya untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi biaya operasional.
3. Menambahkan modul kamera yang terintegrasi dengan algoritma *YOLO* untuk deteksi visual tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Ananda, dan C. Umari, “PERANCANGAN SISTEM MONITORING TANAMAN BAYAM BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IOT),” Buletin Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika vol.2, no.2, hal 27, Januari 2022. Tersedia : <https://doi.org/10.3451/buletinmkg.v2i2>
- [2] E. K. Pramartaninthyas, S. Ma’shumah, dan R. S. Mahmudah, ‘Rancang Bangun Sistem Kontrol dan Monitoring Suhu dan Kelembaban Tanah pada *Greenhouse* berbasis Internet of Thing menggunakan Aplikasi Telegram,’ QOMARUNA Journal of Multidisciplinary Studies, vol. 01, no. 10, hal 68, October 2023
- [3] Y. Bandini, N. Azis, Bayam, Jakarta, Penebar Swadaya, 1995.
- [4] B. Lakitan, ‘Hortikultura: Teori, Budidaya, dan Pasca Panen’. Jakarta: RajaGrafindo Persada, 1996.
- [5] D. Ekoputranto, “Pengaturan Suhu pada Pertumbuhan Bayam Cabut (*Amaranthus tricolor* L.) secara Hidroponik di dalam Bangunan *Greenhouse*,” Skripsi, Fakultas Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada, 2016.
- [6] W. S. Prawiranata, S. Harran, dan P. Tjondronegoro, “Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan, Jilid II”. Bogor: Departemen Botani, Fakultas Pertanian, IPB, 1982.
- [7] H. B. Jumin, “Ekologi Tanaman: Suatu Pendekatan Fisiologis”, Edisi 1, Cetakan 2. Jakarta: Rajawali Press, 1992.
- [8] S. Rahman, dan R. R. Santika, “*Prototype* Penyiram Tanaman Bayam Otomatis untuk Menjaga Kelembaban Tanah Berbasis NodeMCUESP8266,” TICOM: Technology of Information and Communication vol. 11, no.1, hal 26, September 2022
- [9] U. Ristian, I. Ruslianto, and K. Sari, “Sistem Monitoring Smart *Greenhouse* pada Lahan Terbatas Berbasis *Internet of Things* (IoT),” *Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika (JEPIN)*, vol. 8, no. 1, p. 87, Apr. 2022, doi: 10.26418/jp.v8i1.52770

- [10]K. Sari and M. Riasetiawan, *ICST: 2018 4th International Conference on Science and Technology: proceedings: 7-8 August 2018, Eastparc Hotel, Yogyakarta, Indonesia*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2018.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. Kode Program Arduino

```
// === Library yang digunakan ===
#include "DHT.h"                // Untuk membaca sensor suhu &
                                // kelembaban DHT11
#include "Adafruit_VL53L0X.h"    // Untuk membaca sensor jarak
                                // VL53L0X (digunakan untuk tinggi tanaman)
#include <Preferences.h>         // Untuk menyimpan data di memori
                                // ESP32
#include <WiFi.h>                // Untuk koneksi WiFi
#include <PubSubClient.h>        // Untuk komunikasi MQTT (kirim
                                // data ke server)

// === Konfigurasi WiFi & MQTT ===
const char* ssid = "MF90_452200"; // Nama WiFi
const char* password = "2U346J2J88"; // Password WiFi
const char* mqtt_server = "broker.hivemq.com"; // Server MQTT
                                // (broker)
const char* mqtt_topic = "esp32sensor/data"; // Topic MQTT untuk
                                // publish data

WiFiClient espClient;           // Client untuk WiFi
PubSubClient client(espClient); // Client untuk MQTT

// === Inisialisasi objek sensor ===
Preferences storage;             // Untuk penyimpanan data
Adafruit_VL53L0X lox = Adafruit_VL53L0X(); // Objek sensor VL53L0X

#define DHTPIN 23                // Pin sensor DHT11 terhubung ke
                                // GPIO 23
#define DHTTYPE DHT11            // Tipe sensor DHT yang digunakan
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);        // Membuat objek sensor DHT

// === Deklarasi pin output (Relay) ===
```



```

const int rly_suhu = 18;          // Relay untuk pompa pendingin suhu
const int rly_rh = 19;           // Relay untuk pompa kelembaban
tanah

const int pinSensorRH = 36;      // Pin analog untuk sensor
kelembaban tanah

// === Variabel data sensor ===
float suhu = 0.0, rh = 0.0;      // Variabel suhu udara dan
kelembaban tanah
int tinggi_cm = 0;               // Variabel tinggi tanaman dalam cm

// === Filter untuk meredam fluktuasi pembacaan sensor ===
float rh_filtered = 0.0;
const float smoothing_factor = 0.1; // Semakin kecil, semakin halus
perubahan datanya

// === Filter untuk tinggi tanaman ===
float tinggi_filtered = 0.0;
int tinggi_max = 0; // Menyimpan nilai tertinggi (agar data tinggi
tidak turun)

// === Jarak sensor dari tanah ===
const int tinggi_sensor_cm = 37; // Sensor dipasang 37 cm dari
permukaan tanah

// === Timer untuk interval pembacaan dan pengiriman ===
unsigned long lastWiFiCheck = 0;
unsigned long lastSuhuRhRead = 0;
unsigned long lastTinggiRead = 0;
unsigned long lastSend = 0;

// === Interval waktu dalam milidetik ===
const unsigned long wifiCheckInterval = 10000; // 10 detik cek WiFi
const unsigned long suhuRhInterval = 1000;    // 1 detik baca suhu
& kelembaban

```



```

const unsigned long tinggiInterval = 500;      // 0,5 detik baca
tinggi tanaman
const unsigned long mqttInterval = 5000;      // 5 detik kirim data
ke MQTT

// === Fungsi untuk mapping nilai float (misal dari ADC ke %
kelembaban) ===
float mapfloat(float x, float in_min, float in_max, float out_min,
float out_max) {
    return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) +
out_min;
}

// === Fungsi koneksi WiFi ===
void connectToWiFi() {
    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) return; // Jika sudah
terkoneksi, keluar

    Serial.println("Mencoba koneksi WiFi...");
    WiFi.disconnect(true);
    WiFi.begin(ssid, password);

    unsigned long startAttemptTime = millis();
    // Tunggu sampai WiFi terkoneksi atau 15 detik
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && millis() -
startAttemptTime < 15000) {
        Serial.print(".");
        delay(500);
    }

    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
        Serial.println("\nWiFi Connected!");
        Serial.println(WiFi.localIP()); // Tampilkan IP ESP32
    } else {
        Serial.println("\nWiFi GAGAL terkoneksi!");
    }
}

```



```

    }
}

// === Fungsi untuk koneksi ulang MQTT ===
void reconnectMQTT() {
    while (!client.connected()) { // Selama belum terkoneksi
        Serial.print("MQTT reconnect...");
        String clientId = "ESP32Sensor-" + String(random(1000)); // Nama
unik
        if (client.connect(clientId.c_str())) {
            Serial.println("connected");
        } else {
            Serial.print("failed, rc=");
            Serial.print(client.state());
            Serial.println(" coba lagi 1 detik");
            delay(1000);
        }
    }
}

// === Fungsi baca sensor suhu & kontrol pompa ===
void rd_suhu() {
    float h = dht.readHumidity();
    float t = dht.readTemperature();

    if (isnan(h) || isnan(t)) { // Jika gagal baca sensor
        Serial.println("Sensor suhu gagal dibaca!");
        return;
    }

    suhu = t - 1.5; // Koreksi offset sensor (agar lebih akurat)

    // Logika kontrol pompa suhu
    if (suhu >= 28.0) {
        digitalWrite(rly_suhu, LOW); // Relay aktif (ON)
    }
}

```



```

        Serial.println("Pompa Suhu ON");
    } else if (suhu <= 27.0) {
        digitalWrite(rly_suhu, HIGH); // Relay mati (OFF)
        Serial.println("Pompa Suhu OFF");
    }

    Serial.print("Suhu: ");
    Serial.print(suhu, 1);
    Serial.println(" °C");
}

// === Fungsi baca sensor kelembaban tanah & kontrol pompa ===
void rd_rh_tanah() {
    const int numSamples = 10; // Jumlah sampling untuk perataan
    long total = 0;

    for (int i = 0; i < numSamples; i++) {
        total += analogRead(pinSensorRH);
        delay(5);
    }

    float avg = total / (float)numSamples;

    // Mapping ADC ke % kelembaban tanah
    float rh_raw = mapfloat(avg, 2640, 1220, 0, 100);
    rh_raw = constrain(rh_raw, 0, 100);

    // Filter agar data lebih stabil
    rh_filtered = (smoothing_factor * rh_raw) + ((1 -
smoothing_factor) * rh_filtered);
    rh = rh_filtered;

    // Logika pompa kelembaban
    if (rh < 40.0) {
        digitalWrite(rly_rh, LOW);
    }
}

```



```

    Serial.println("Pompa Rh ON");
} else if (rh > 60.0) {
    digitalWrite(rly_rh, HIGH);
    Serial.println("Pompa Rh OFF");
}

Serial.print("Kelembaban tanah: ");
Serial.print((int)rh);
Serial.println(" %");
}

// === Fungsi baca sensor jarak untuk tinggi tanaman ===
void rd_tinggi() {
    const int numSamples = 5;
    long total_mm = 0;

    // Ambil rata-rata pembacaan
    for (int i = 0; i < numSamples; i++) {
        int jarak_mm = lox.readRange();
        if (!lox.timeoutOccurred()) {
            total_mm += jarak_mm;
        }
        delay(10);
    }

    float avg_mm = total_mm / (float)numSamples;

    // Hitung tinggi tanaman
    float tinggi_raw_cm = tinggi_sensor_cm - (avg_mm / 10.0);
    if (tinggi_raw_cm < 0) tinggi_raw_cm = 0;

    // Filter agar data stabil
    tinggi_filtered = (smoothing_factor * tinggi_raw_cm) + ((1 -
smoothing_factor) * tinggi_filtered);

```



```

    int tinggi_sekarang = (int)(tinggi_filtered + 0.5); // Pembulatan
    ke int

    // Simpan nilai tertinggi (tanaman tidak akan "mengecil")
    if (tinggi_sekarang > tinggi_max) {
        tinggi_max = tinggi_sekarang;
    }

    tinggi_cm = tinggi_max; // Gunakan nilai max

    Serial.print("Tinggi tanaman: ");
    Serial.print(tinggi_cm);
    Serial.println(" cm");
}

// === Setup awal ===
void setup() {
    Serial.begin(115200);

    // Set pin relay sebagai OUTPUT dan OFF
    pinMode(rly_suhu, OUTPUT);
    pinMode(rly_rh, OUTPUT);
    digitalWrite(rly_suhu, HIGH);
    digitalWrite(rly_rh, HIGH);

    // Konfigurasi WiFi
    WiFi.mode(WIFI_STA);
    WiFi.setAutoReconnect(true);
    WiFi.persistent(true);

    connectToWiFi();
    client.setServer(mqtt_server, 1883);

    dht.begin();

```



```

// Cek sensor VL53L0X
if (!lox.begin()) {
    Serial.println(F("Gagal memulai VL53L0X!"));
    while (1);
}

// Inisialisasi filter awal kelembaban
rh_filtered = mapfloat(analogRead(pinSensorRH), 2640, 1220, 0,
100);
rh_filtered = constrain(rh_filtered, 0, 100);

tinggi_filtered = 0;
tinggi_max = 0;
}

// === Loop utama ===
void loop() {
    // Cek koneksi WiFi setiap 10 detik
    if (millis() - lastWiFiCheck > wifiCheckInterval) {
        lastWiFiCheck = millis();
        if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
            connectToWiFi();
        }
    }

    // Pastikan MQTT terkoneksi
    if (!client.connected()) {
        reconnectMQTT();
    }
    client.loop();

    // Baca suhu dan kelembaban setiap 1 detik
    if (millis() - lastSuhuRhRead > suhuRhInterval) {
        lastSuhuRhRead = millis();
        rd_suhu();
    }
}

```



```

    rd_rh_tanah();
}

// Baca tinggi setiap 0,5 detik
if (millis() - lastTinggiRead > tinggiInterval) {
    lastTinggiRead = millis();
    rd_tinggi();
}

// Kirim data ke MQTT setiap 5 detik
if (millis() - lastSend > mqttInterval) {
    lastSend = millis();

    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED && client.connected()) {
        String payload = "{\"suhu\":" + String(suhu, 1) +
            "\",\"rh\":" + String((int)rh) +
            "\",\"tinggi\":" + String(tinggi_cm) + "}";

        bool success = client.publish(mqtt_topic, payload.c_str());
        Serial.println(success ? "MQTT publish success" : "MQTT
publish failed");
        Serial.println("Payload: " + payload);
    } else {
        Serial.println("WiFi atau MQTT belum terkoneksi, data tidak
dikirim.");
    }
}
}
}

```


LAMPIRAN 2. Tabel Data Hasil Pengujian Alat Keseluruhan

Timestamp	Suhu	Pompa Suhu	Kelembaban	Pompa Kelembaban	Tinggi
2025-08-11 13:30:00	27,9	OFF	43	OFF	8
2025-08-11 13:40:00	27,6	OFF	54	OFF	14
2025-08-11 13:50:00	27,7	OFF	55	OFF	14
2025-08-11 14:00:00	27,7	OFF	55	OFF	14
2025-08-11 14:10:00	27,5	OFF	55	OFF	14
2025-08-11 14:20:00	27,4	OFF	55	OFF	14
2025-08-11 14:30:00	27	OFF	55	OFF	14
2025-08-11 14:40:00	26,5	OFF	55	OFF	14
2025-08-11 14:50:00	26,5	OFF	55	OFF	14
2025-08-11 15:00:00	26,5	OFF	55	OFF	14
2025-08-11 15:10:00	26,5	OFF	55	OFF	14
2025-08-11 15:20:00	26,3	OFF	55	OFF	14
2025-08-11 15:30:00	26,5	OFF	55	OFF	14
2025-08-11 15:40:00	26,6	OFF	55	OFF	14
2025-08-11 15:50:00	26,8	OFF	55	OFF	14
2025-08-11 16:00:00	26,6	OFF	55	OFF	14
2025-08-11 16:10:00	26,5	OFF	54	OFF	14
2025-08-11 16:20:00	26,3	OFF	55	OFF	14
2025-08-11 16:30:00	26,3	OFF	55	OFF	14
2025-08-11 16:40:00	26,1	OFF	55	OFF	14
2025-08-11 16:50:00	26,1	OFF	55	OFF	14
2025-08-11 17:00:00	26,1	OFF	55	OFF	14
2025-08-11 17:10:00	25,9	OFF	54	OFF	14
2025-08-11 17:20:00	25,7	OFF	54	OFF	14
2025-08-11 17:30:00	25,2	OFF	54	OFF	14
2025-08-11 17:40:00	25,2	OFF	54	OFF	14
2025-08-11 17:50:00	24,8	OFF	54	OFF	14
2025-08-11 18:00:00	24,8	OFF	54	OFF	14

2025-08-11 18:10:00	24,8	OFF	54	OFF	14
2025-08-11 18:20:00	24,7	OFF	54	OFF	14
2025-08-11 18:30:00	24,7	OFF	54	OFF	14
2025-08-11 18:40:00	25,2	OFF	54	OFF	14
2025-08-11 18:50:00	25,3	OFF	54	OFF	14
2025-08-11 19:00:00	25,6	OFF	54	OFF	14
2025-08-11 19:10:00	25,6	OFF	54	OFF	14
2025-08-11 19:20:00	25,6	OFF	54	OFF	14
2025-08-11 19:30:00	25,6	OFF	53	OFF	14
2025-08-11 19:40:00	25,2	OFF	53	OFF	14
2025-08-11 19:50:00	24,8	OFF	53	OFF	14
2025-08-11 20:00:00	24,4	OFF	53	OFF	14
2025-08-11 20:10:00	24,3	OFF	53	OFF	14
2025-08-11 20:20:00	24,3	OFF	53	OFF	14
2025-08-11 20:30:00	24,4	OFF	53	OFF	14
2025-08-11 20:40:00	24,6	OFF	53	OFF	14
2025-08-11 20:50:00	24,8	OFF	53	OFF	14
2025-08-11 21:00:00	24,8	OFF	52	OFF	14
2025-08-11 21:10:00	24,8	OFF	52	OFF	14
2025-08-11 21:20:00	24,9	OFF	52	OFF	14
2025-08-11 21:30:00	24,9	OFF	52	OFF	14
2025-08-11 21:40:00	25,1	OFF	52	OFF	14
2025-08-11 21:50:00	25,3	OFF	52	OFF	14
2025-08-11 22:00:00	25	OFF	52	OFF	14
2025-08-11 22:10:00	24,9	OFF	52	OFF	14
2025-08-11 22:20:00	24,9	OFF	52	OFF	14
2025-08-11 22:30:00	24,8	OFF	52	OFF	14
2025-08-11 22:40:00	24,9	OFF	52	OFF	14
2025-08-11 22:50:00	24,9	OFF	52	OFF	14
2025-08-11 23:00:00	24,9	OFF	52	OFF	14
2025-08-11 23:10:00	25	OFF	52	OFF	14

2025-08-11 23:20:00	25,1	OFF	51	OFF	14
2025-08-11 23:30:00	25,1	OFF	51	OFF	14
2025-08-11 23:40:00	25	OFF	51	OFF	14
2025-08-11 23:50:00	25	OFF	51	OFF	14
2025-08-12 00:00:00	25	OFF	51	OFF	14
2025-08-12 00:10:00	25,1	OFF	51	OFF	15
2025-08-12 00:20:00	25,3	OFF	51	OFF	15
2025-08-12 00:30:00	25,3	OFF	51	OFF	15
2025-08-12 00:40:00	25,3	OFF	51	OFF	15
2025-08-12 00:50:00	25,4	OFF	51	OFF	15
2025-08-12 01:00:00	25,4	OFF	50	OFF	15
2025-08-12 01:10:00	25,5	OFF	50	OFF	15
2025-08-12 01:20:00	25,5	OFF	50	OFF	15
2025-08-12 01:30:00	25,5	OFF	50	OFF	15
2025-08-12 01:40:00	25,3	OFF	50	OFF	15
2025-08-12 01:50:00	25,2	OFF	50	OFF	15
2025-08-12 02:00:00	25	OFF	50	OFF	15
2025-08-12 02:10:00	25	OFF	50	OFF	15
2025-08-12 02:20:00	25,1	OFF	50	OFF	15
2025-08-12 02:30:00	25,1	OFF	50	OFF	15
2025-08-12 02:40:00	25,2	OFF	50	OFF	15
2025-08-12 02:50:00	25,3	OFF	50	OFF	15
2025-08-12 03:00:00	25,3	OFF	50	OFF	15
2025-08-12 03:10:00	25,3	OFF	50	OFF	15
2025-08-12 03:20:00	25,2	OFF	50	OFF	15
2025-08-12 03:30:00	25,2	OFF	50	OFF	15
2025-08-12 03:40:00	25,2	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 03:50:00	25,2	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 04:00:00	25,6	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 04:10:00	25,6	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 04:20:00	25,6	OFF	49	OFF	15

2025-08-12 04:30:00	25,6	OFF	50	OFF	15
2025-08-12 04:40:00	25,7	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 04:50:00	25,6	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 05:00:00	25,7	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 05:10:00	25,7	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 05:20:00	26	OFF	50	OFF	15
2025-08-12 05:30:00	26,1	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 05:40:00	25,9	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 05:50:00	25,7	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 06:00:00	25,7	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 06:10:00	25,7	OFF	50	OFF	15
2025-08-12 06:20:00	25,6	OFF	50	OFF	15
2025-08-12 06:30:00	25,6	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 06:40:00	25,6	OFF	50	OFF	15
2025-08-12 06:50:00	25,7	OFF	50	OFF	15
2025-08-12 07:00:00	25,7	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 07:10:00	26,1	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 07:20:00	26,1	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 07:30:00	26,1	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 07:40:00	26,5	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 07:50:00	26,5	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 08:00:00	26,5	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 08:10:00	26,6	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 08:20:00	26,9	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 08:30:00	27	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 08:40:00	27	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 08:50:00	27	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 09:00:00	27,4	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 09:10:00	27,8	OFF	49	OFF	15
2025-08-12 09:20:00	27	OFF	54	OFF	15
2025-08-12 09:30:00	27	OFF	54	OFF	15

2025-08-12 09:40:00	27,4	OFF	53	OFF	15
2025-08-12 09:50:00	27,5	OFF	52	OFF	15
2025-08-12 10:00:00	27,8	OFF	51	OFF	15
2025-08-12 10:10:00	27,8	OFF	52	OFF	15
2025-08-12 10:20:00	27,4	OFF	52	OFF	15
2025-08-12 10:30:00	27,8	OFF	52	OFF	15
2025-08-12 10:40:00	27,8	OFF	52	OFF	15
2025-08-12 10:50:00	27,5	OFF	53	OFF	15
2025-08-12 11:00:00	27,9	OFF	52	OFF	15
2025-08-12 11:10:00	27,5	OFF	53	OFF	15
2025-08-12 11:20:00	27,5	OFF	52	OFF	15
2025-08-12 11:30:00	27,4	OFF	53	OFF	15
2025-08-12 11:40:00	27,8	OFF	54	OFF	15
2025-08-12 11:50:00	27,5	OFF	54	OFF	15
2025-08-12 12:00:00	27,8	OFF	54	OFF	15
2025-08-12 12:10:00	27,8	OFF	54	OFF	15
2025-08-12 12:20:00	27,8	OFF	54	OFF	15
2025-08-12 12:30:00	27,5	OFF	54	OFF	16
2025-08-12 12:40:00	27,8	OFF	54	OFF	16
2025-08-12 12:50:00	27,8	OFF	54	OFF	16
2025-08-12 13:00:00	27,8	OFF	54	OFF	16
2025-08-12 13:10:00	27,8	OFF	54	OFF	16
2025-08-12 13:20:00	27,8	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 13:30:00	27,8	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 13:40:00	27,8	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 13:50:00	27,8	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 14:00:00	27,8	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 14:10:00	27,2	OFF	59	OFF	16
2025-08-12 14:20:00	27,4	OFF	59	OFF	16
2025-08-12 14:30:00	27,1	OFF	59	OFF	16
2025-08-12 14:40:00	27,5	OFF	58	OFF	16

2025-08-12 14:50:00	27,4	OFF	59	OFF	16
2025-08-12 15:00:00	27,6	OFF	57	OFF	16
2025-08-12 15:10:00	27	OFF	57	OFF	16
2025-08-12 15:20:00	26,4	OFF	57	OFF	16
2025-08-12 15:30:00	26,1	OFF	57	OFF	16
2025-08-12 15:40:00	26	OFF	56	OFF	16
2025-08-12 15:50:00	25,5	OFF	56	OFF	16
2025-08-12 16:00:00	25,2	OFF	55	OFF	16
2025-08-12 16:10:00	24,8	OFF	55	OFF	16
2025-08-12 16:20:00	25,2	OFF	55	OFF	16
2025-08-12 16:30:00	25,3	OFF	54	OFF	16
2025-08-12 16:40:00	25,6	OFF	54	OFF	16
2025-08-12 16:50:00	25,6	OFF	54	OFF	16
2025-08-12 17:00:00	25,7	OFF	54	OFF	16
2025-08-12 17:10:00	25,7	OFF	54	OFF	16
2025-08-12 17:20:00	25,7	OFF	54	OFF	16
2025-08-12 17:30:00	25,7	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 17:40:00	25,7	OFF	54	OFF	16
2025-08-12 17:50:00	25,7	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 18:00:00	25,8	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 18:10:00	25,6	OFF	54	OFF	16
2025-08-12 18:20:00	25,7	OFF	54	OFF	16
2025-08-12 18:30:00	25,7	OFF	54	OFF	16
2025-08-12 18:40:00	25,7	OFF	54	OFF	16
2025-08-12 18:50:00	26	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 19:00:00	26,1	OFF	54	OFF	16
2025-08-12 19:10:00	26,1	OFF	54	OFF	16
2025-08-12 19:20:00	26,1	OFF	54	OFF	16
2025-08-12 19:30:00	26,2	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 19:40:00	26,2	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 19:50:00	26,5	OFF	53	OFF	16

2025-08-12 20:00:00	26,6	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 20:10:00	26,6	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 20:20:00	26,6	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 20:30:00	26,6	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 20:40:00	26,6	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 20:50:00	26,6	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 21:00:00	26,8	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 21:10:00	27	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 21:20:00	27,4	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 21:30:00	27,4	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 21:40:00	27,4	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 21:50:00	27,5	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 22:00:00	27,6	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 22:10:00	27,8	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 22:20:00	27,8	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 22:30:00	27,7	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 22:40:00	27,6	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 22:50:00	27,6	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 23:00:00	27,9	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 23:10:00	27,6	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 23:20:00	27,4	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 23:30:00	27,4	OFF	53	OFF	16
2025-08-12 23:40:00	27,4	OFF	52	OFF	16
2025-08-12 23:50:00	27,5	OFF	52	OFF	16
2025-08-13 00:00:00	27,5	OFF	52	OFF	16
2025-08-13 00:10:00	27,8	OFF	52	OFF	16
2025-08-13 00:20:00	27	OFF	52	OFF	16
2025-08-13 00:30:00	26,5	OFF	52	OFF	16
2025-08-13 00:40:00	26,5	OFF	52	OFF	16
2025-08-13 00:50:00	26,1	OFF	53	OFF	16
2025-08-13 01:00:00	26,5	OFF	52	OFF	16

2025-08-13 01:10:00	26,5	OFF	52	OFF	16
2025-08-13 01:20:00	26,6	OFF	52	OFF	16
2025-08-13 01:30:00	27	OFF	52	OFF	16
2025-08-13 01:40:00	27	OFF	52	OFF	16
2025-08-13 01:50:00	27,4	OFF	52	OFF	16
2025-08-13 02:00:00	27,4	OFF	51	OFF	16
2025-08-13 02:10:00	27,5	OFF	51	OFF	16
2025-08-13 02:20:00	27,8	OFF	51	OFF	16
2025-08-13 02:30:00	27,8	OFF	51	OFF	16
2025-08-13 02:40:00	27,9	OFF	51	OFF	16
2025-08-13 02:50:00	27	OFF	53	OFF	16
2025-08-13 03:00:00	26,6	OFF	54	OFF	16
2025-08-13 03:10:00	27	OFF	54	OFF	16
2025-08-13 03:20:00	27	OFF	55	OFF	16
2025-08-13 03:30:00	27,3	OFF	54	OFF	16
2025-08-13 03:40:00	27,4	OFF	55	OFF	16
2025-08-13 03:50:00	27,5	OFF	55	OFF	16
2025-08-13 04:00:00	27,8	OFF	55	OFF	16
2025-08-13 04:10:00	27,8	OFF	54	OFF	16
2025-08-13 04:20:00	27	OFF	54	OFF	16
2025-08-13 04:30:00	27	OFF	54	OFF	16
2025-08-13 04:40:00	27	OFF	55	OFF	16
2025-08-13 04:50:00	27,4	OFF	55	OFF	16
2025-08-13 05:00:00	27,5	OFF	55	OFF	16
2025-08-13 05:10:00	27,8	OFF	55	OFF	16
2025-08-13 05:20:00	28,1	ON	55	OFF	16
2025-08-13 05:30:00	27	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 05:40:00	27	OFF	58	OFF	16
2025-08-13 05:50:00	27	OFF	58	OFF	16
2025-08-13 06:00:00	27	OFF	58	OFF	16
2025-08-13 06:10:00	27,4	OFF	57	OFF	16

2025-08-13 06:20:00	27,4	OFF	56	OFF	16
2025-08-13 06:30:00	27,5	OFF	56	OFF	16
2025-08-13 06:40:00	27,8	OFF	56	OFF	16
2025-08-13 06:50:00	27,8	OFF	56	OFF	16
2025-08-13 07:00:00	27,8	OFF	55	OFF	16
2025-08-13 07:10:00	27,8	OFF	55	OFF	16
2025-08-13 07:20:00	27,9	OFF	55	OFF	16
2025-08-13 07:30:00	28,2	ON	55	OFF	16
2025-08-13 07:40:00	27	OFF	58	OFF	16
2025-08-13 07:50:00	27,4	OFF	58	OFF	16
2025-08-13 08:00:00	27,8	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 08:10:00	27,9	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 08:20:00	27	OFF	58	OFF	16
2025-08-13 08:30:00	27,4	OFF	58	OFF	16
2025-08-13 08:40:00	27,5	OFF	58	OFF	16
2025-08-13 08:50:00	27,8	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 09:00:00	27,9	OFF	56	OFF	16
2025-08-13 09:10:00	27	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 09:20:00	27,4	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 09:30:00	27,8	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 09:40:00	27,8	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 09:50:00	27,3	OFF	58	OFF	16
2025-08-13 10:00:00	27,5	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 10:10:00	27,3	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 10:20:00	27,5	OFF	56	OFF	16
2025-08-13 10:30:00	27,9	OFF	56	OFF	16
2025-08-13 10:40:00	27,5	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 10:50:00	27,5	OFF	56	OFF	16
2025-08-13 11:00:00	27,7	OFF	56	OFF	16
2025-08-13 11:10:00	27,1	OFF	58	OFF	16
2025-08-13 11:20:00	27,9	OFF	57	OFF	16

2025-08-13 11:30:00	27,4	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 11:40:00	27,8	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 11:50:00	27,9	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 12:00:00	27,9	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 12:10:00	27,8	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 12:20:00	27,9	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 12:30:00	27,3	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 12:40:00	27,5	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 12:50:00	27,4	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 13:00:00	27,6	OFF	56	OFF	16
2025-08-13 13:10:00	27,6	OFF	56	OFF	16
2025-08-13 13:20:00	27	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 13:30:00	27,8	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 13:40:00	27,5	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 13:50:00	27,5	OFF	56	OFF	16
2025-08-13 14:00:00	27	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 14:10:00	27,4	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 14:20:00	27,8	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 14:30:00	28	ON	57	OFF	16
2025-08-13 14:40:00	27,9	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 14:50:00	28,1	ON	56	OFF	16
2025-08-13 15:00:00	27,4	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 15:10:00	27	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 15:20:00	27,8	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 15:30:00	27,4	OFF	58	OFF	16
2025-08-13 15:40:00	27,3	OFF	58	OFF	16
2025-08-13 15:50:00	27,8	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 16:00:00	27,4	OFF	58	OFF	16
2025-08-13 16:10:00	27,8	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 16:20:00	27,8	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 16:30:00	27,8	OFF	57	OFF	16

2025-08-13 16:40:00	27,3	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 16:50:00	27	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 17:00:00	27,5	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 17:10:00	27,4	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 17:20:00	27,4	OFF	56	OFF	16
2025-08-13 17:30:00	27,2	OFF	56	OFF	16
2025-08-13 17:40:00	27,5	OFF	56	OFF	16
2025-08-13 17:50:00	27,7	OFF	56	OFF	16
2025-08-13 18:00:00	27,5	OFF	56	OFF	16
2025-08-13 18:10:00	27,9	OFF	56	OFF	16
2025-08-13 18:20:00	26,9	OFF	56	OFF	16
2025-08-13 18:30:00	27,4	OFF	56	OFF	16
2025-08-13 18:40:00	27,4	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 18:50:00	27,4	OFF	57	OFF	16
2025-08-13 19:00:00	27,8	OFF	58	OFF	16
2025-08-13 19:10:00	27,9	OFF	60	OFF	16
2025-08-13 19:20:00	27,9	OFF	60	OFF	16
2025-08-13 19:30:00	27,5	OFF	61	OFF	16
2025-08-13 19:40:00	28	ON	61	OFF	16

LAMPIRAN 3. Datasheet Sensor

TABEL 1 Spesifikasi VL53L0XV2

Spesifikasi	Keterangan
Size	4.40 x 2.40 x 1.00 mm
Tegangan Input	2.6 to 3.5 Volt
Operating temperature	-20 to 20C

Infrared emmitter	940 nm
I2C	Up to 400 kHz (FAST Mode) serial bus Addres : 0x52

TABEL 2 Spesifikasi Relay

Spesifikasi	Keterangan
Maximum load	AC 250V/10A, DC 30V/10A
Jumlah channel	2
Working voltage	5V, active LOW

TABEL 3 Spesifikasi Sensor DHT11

Spesifikasi	Keterangan
Rentang Pengukuran Suhu	0 – 50
Kesalahan pengukuran	+ -
Tegangan Kerja	3,3 V – 5 V
Bentuk output	Keluaran digital

TABEL 4 Spesifikasi Sensor Kelembaban Tanah

Spesifikasi	Keterangan
Working Voltage	3.3 – 5.5 vdc

Output Voltage	0 – 3 VDC
Port	PH2.54 – 34P
Output	Analog

TABEL 5 Spesifikasi Waterpump

Spesifikasi	Keterangan
Input Voltage	3V – 5V DC
Flow Rate	1.2 – 1.6 L/min
Operation Current	0.1 – 0.2 A
Diameter of water inlet	5.0 mm