

**OTOMASI SISTEM PENYIRAMAN TANAMAN BAWANG
MERAH PADA LOKASI TANAH BERBATU
BERBASIS *INTERNET OF THINGS***

(Skripsi)

Oleh

**Flora Finansia Simbolon
2017041036**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

OTOMASI SISTEM PENYIRAMAN TANAMAN BAWANG MERAH PADA LOKASI TANAH BERBATU BERBASIS *INTERNET OF THINGS*

Oleh

Flora Finansia Simbolon

Pada penelitian ini telah merealisasikan otomasi sistem penyiraman tanaman bawang merah pada lokasi tanah berbatu berbasis *Internet of Things* (IoT). Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat penyiraman otomatis pada lokasi tanah berbatu dan memahami cara pengguna untuk mengakses data keluaran dari sistem. Sistem ini menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP32 dengan masukan sensor *capacitive soil moisture* untuk mengukur kadar air tanah dengan akurasi 98,86%, sensor DHT11 untuk mengukur suhu udara dengan akurasi 99,31% dan kelembaban udara dengan akurasi 99,24%, serta sensor hujan berupa nilai digital 0 (hujan) dan 1 (tidak hujan). Penelitian ini menggunakan metode penelitian *Research and Development* yang terbagi menjadi 3 bagian yaitu persiapan *hardware*, *software*, dan lahan pengujian. Keluaran sistem berupa pengontrolan *solenoid valve* untuk penyiraman air dan pompa untuk penyemprotan pestisida. Berdasarkan hasil penelitian, sistem berjalan dengan baik yang ditunjukkan oleh tampilan data keluaran setiap parameter sensor secara *real time* pada website <https://iot.darmajaya.ac.id/tanicerdas/home.html> dan aplikasi dengan delay 5 detik. Alat akan melakukan penyiraman secara otomatis ketika terdeteksi kelembaban tanah $< 30\%$ atau kelembaban udara $< 50\%$ dan berhenti menyiram saat kelembaban tanah $\geq 50\%$ dan kelembaban udara $\geq 70\%$. Kontrol *on/off* pompa dilakukan melalui aplikasi yang diaktifkan setelah hujan. Hasil monitoring menunjukkan nilai kelembaban tanah yang terukur pada rentang 19,46%–79,19% dan kelembaban udara pada rentang 17,6%–96,6%. Sistem ini terbukti efektif dalam mendukung perkembangan tanaman bawang merah pada lokasi tanah berbatu.

Kata kunci: Aplikasi, Bawang merah, ESP 32, Kelembaban, Otomasi penyiraman, Website

ABSTRACT

AUTOMATION OF IRRIGATION SYSTEM FOR SHALLOT PLANTS IN ROCKY SOIL LOCATIONS BASED ON THE INTERNET OF THINGS

By

Flora Finansia Simbolon

This research has realized the automation of irrigation systems for shallot plants in rocky soil locations based on the Internet of Things (IoT). This research aims to design an automatic watering tool on rocky soil locations and understand how users can access output data from the system. This system uses a NodeMCU ESP32 microcontroller with capacitive soil moisture sensor input to measure soil moisture with an accuracy of 98,86%, a DHT11 sensor to measure air temperature with an accuracy of 99,31%, and air humidity with an accuracy of 99,24%, and a rain sensor in the form of digital values 0 (rain) and 1 (no rain). This research uses the Research and Development research method which is divided into 3 parts, namely hardware preparation, software, and testing ground. The system's output is in the form of controlling the solenoid valve for watering and the pump for spraying pesticides. Based on the research results, the system runs well as indicated by the display of the output data of each sensor parameter in real-time on the website <https://iot.darmajaya.ac.id/tanicerdas/home.html> and the application with a delay of 5 seconds. The tool will water automatically when soil moisture <30% or air humidity <50% is detected and stop watering when soil moisture \geq 50% and air humidity \geq 70%. Pump on/off control is done through the app activated after rainfall. Monitoring results showed measured soil moisture values in the range of 19,46%-79,19% and air humidity in the range of 17,6%-96,6%. This system has proven effective in supporting the growth of shallot plants in rocky soil locations.

Keywords: *Application, Shallots, ESP32, Humidity, Automated Watering, Website*

**OTOMASI SISTEM PENYIRAMAN TANAMAN BAWANG
MERAH PADA LOKASI TANAH BERBATU
BERBASIS *INTERNET OF THINGS***

Oleh

Flora Finansia Simbolon

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Penelitian : **Otomasi Sistem Penyiraman Tanaman Bawang Merah Pada Lokasi Tanah Berbatu Berbasis *Internet of Things***

Nama Mahasiswa : **Flora Finansia Simbolon**


Nomor Pokok Mahasiswa : 2017041036

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




Dr. Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si.
NIP 197108291997032001


Dodi Yudo Setyawan, S.Si., M.Ti.
NIK 11340809

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA



Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP 198010102005011002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si.

Sekretaris : Dodi Yudo Setyawan, S.Si., M.Ti.

Penguji Bukan Pembimbing : Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 1971100120050011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 10 Juni 2024

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri berdasarkan pengetahuan dan informasi yang telah saya peroleh. Karya ilmiah ini tidak mengandung materi yang telah dipublikasikan sebelumnya kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Dengan kata lain, skripsi ini bukan merupakan hasil plagiat karya orang lain.

Demikian pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ilmiah, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 10 Juni 2024
Yang Menyatakan,



Flora Finansia Simbolon
NPM. 2017041036

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Lau Pamulutan pada tanggal 14 November 2001. Penulis merupakan anak kedelapan dari sembilan bersaudara pasangan Bapak Jaungkir Simbolon dan Ibu Berta Situmorang. Penulis beralamat di Lau Pamulutan, desa Lau Molgap, Kec. Tigalingga, Kab. Dairi, Provinsi Sumatera Utara. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN 03037995 Lau Pamulutan tahun 2008-2014. Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 3 Tigalingga tahun 2014-2017, dan kemudian di SMA Swasta St. Petrus Sidikalang tahun 2017-2020. Pada tahun 2020, penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Fisika di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Penulis memilih untuk berkonsentrasi dalam bidang Instrumentasi Fisika.

Selama menjadi mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Unila, penulis pernah menjadi asisten praktikum mata kuliah Elektronika Dasar I dan II, Fisika Dasar II, Fisika Komputasi, dan Mentor responsi mata kuliah agama katolik. Penulis juga aktif di beberapa organisasi kemahasiswaan diantaranya Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) FMIPA Unila sebagai Anggota Bidang Sosial dan Masyarakat (SOSMAS) di tahun 2020-2022, Anggota Dinas Pemberdayaan Wanita BEM FMIPA Unila di tahun 2022. Penulis juga merupakan salah satu penerima Beasiswa Kartu Indonesia Pintar-Kuliah (KIP-K) Kemendikbudristek.

Pada bulan Januari-Februari 2023 penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkit Tarahan Lamung Selatan dengan judul “Analisis Heat Reat dan Kinerja Turbin Uap Berdasarkan Performance Test di PT. PLN (Persero) UPK Tarahan Unit 3 Berkapasitas 100 MW”. Kemudian, pada bulan Juli-Agustus 2023 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Teba Jawa Kecamatan Kedondong, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung.

MOTTO

"Perpanjanglah Garis Kebajikan Diri Tanpa Menghapus Garis Kebajikan Orang
Lain"

"Aku memulai dalam nama Tuhan Yesus dan dengan penuh keyakinan
mengakhiri dengan kata Amin"

"Serahkanlah segala kekuatiranmu kepada-Nya, sebab Ia yang memelihara kamu"
(1 Petrus 5:7)

"Karena Masa Depan Sungguh Ada dan Harapanmu Tidak Akan Hilang"
(Amsal 23:18)

PERSEMBAHAN

Dengan Penuh Rasa Syukur Kepada Tuhan YME, karya ini kupersembahkan kepada:

Kedua Orang Tuaku

Bapak Jaungkir Simbolon dan Ibu Berta Situmorang
Terima kasih atas cinta, doa, dan pengorbanan kalian. Berkat dukungan dan usaha tanpa henti dari kalian, aku bisa meraih gelar Sarjana ini. Pencapaian ini adalah hasil dari cinta dan dedikasi kalian. Semoga aku selalu bisa membuat kalian bangga.

Kakak, Abang, Adik

Lidesma, Herti, Adi, Margaretta, Adela, Serafina, Roky, dan Elsa
Terima kasih atas doa, cinta, dukungan, saran, motivasi, perhatian, semangat dan bantuan materi yang telah diberikan kepada penulis sehingga gelar ini bisa tercapai. Terima kasih simbolon family.

Bapak/Ibu Dosen Fisika FMIPA UNILA

Terimakasih atas ilmu pengetahuan dan budi pekerti yang telah diajarkan.

Diri Sendiri

Terima kasih atas ketekunan, kesabaran, dan kerja keras yang telah ditunjukkan sepanjang perjalanan akademik ini. Terima kasih telah tetap berkomitmen dan tidak menyerah di tengah berbagai tantangan yang dihadapi.

"Bukan aku yang kuat tapi Tuhan lah yang mempermudah, bukan aku yang mampu tapi Tuhan lah yang menolong, bukan aku yang pintar tapi Tuhan lah yang memberi hikmat dan pemahaman."

Rekan-rekan seperjuangan Fisika Angkatan 2020

Almamater Tercinta
UNIVERSITAS LAMPUNG

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kesehatan, kemampuan, rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Otomasi Sistem Penyiraman Tanaman Bawang Merah Pada Lokasi Tanah Berbatu Berbasis *Internet of Things*”**. Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Prodi Fisika FMIPA Universitas Lampung dan juga melatih mahasiswa untuk berpikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah.

Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penelitian dan penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan untuk memperbaiki penulisan di masa mendatang. Penulis mohon maaf atas segala kekurangan yang ada. Semoga skripsi ini bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi penulis maupun pembaca.

Bandar Lampung, 10 Juni 2024
Penulis,

Flora Finansia Simbolon

SANWACANA

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kesehatan, kemampuan, rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir dengan judul “**Otomasi Sistem Penyiraman Tanaman Bawang Merah Pada Lokasi Tanah Berbatu Berbasis *Internet of Things***”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk kelulusan di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Dalam menyelesaikan proposal ini, penulis telah mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu, diantaranya:

1. Kedua Orang Tua, kakak, abang dan adik (Simbolon family) yang sudah memberikan doa, semangat, motivasi dan kepercayaan, serta dukungan berupa materi kepada penulis hingga saat ini.
2. Ibu Dr. Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing I tugas akhir yang selalu bersedia dan sabar untuk membantu, memberikan ilmu, waktu, tenaga, semangat, motivasi, arahan, saran, serta nasehat dalam membimbing penulis menyusun proposal tugas akhir.
3. Bapak Dodi Yudo Setyawan S.Si., M.Ti. selaku dosen pembimbing II tugas akhir yang selalu bersedia dan sabar untuk membantu, memberikan ilmu, waktu, tenaga, semangat, motivasi, arahan, saran, serta nasehat dalam membimbing penulis menyusun proposal tugas akhir.
4. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku dosen pembahas yang telah memberikan saran, masukan dan ilmu pada penulis dalam penyusunan proposal tugas akhir sehingga jauh lebih baik.
5. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Akademik.

6. Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika yang telah membantu dalam pengurusan semua kegiatan yang dijalankan penulis selama menjadi mahasiswa.
7. Segenap dosen Jurusan Fisika yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
8. Para staff dan karyawan Jurusan Fisika yang telah membantu penulis memenuhi kebutuhan administrasi berkas.
9. Bella Ari Setianingrum, Fahrika Maulinda Saputri, Rana Yuliandra yang telah memberikan motivasi, bantuan, dan semangat kepada penulis.
10. Teman-teman seperjuangan Jurusan Fisika angkatan 2020, adik-adik angkatan 2021, 2022 dan 2023 yang telah memberikan semangat, solidaritas, dan kekeluargaan yang luar biasa.

Serta berbagai pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga Tuhan membalas segala kebaikan dengan yang lebih baik dan mempermudah urusannya.

Bandar Lampung, 10 Juni 2024
Penulis,

Flora Finansia Simbolon

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
PERNYATAAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xix
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Batasan Masalah	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terdahulu	8
2.2 Dasar Teori.....	11

2.2.1 Kelembaban Tanah	11
2.2.2 Lokasi Tanah Berbatu.....	12
2.2.3 Kelembaban dan Suhu Udara	14
2.2.4 <i>Internet of Things</i> (IoT)	15
2.2.5 <i>Capacitive Soil moisture sensor V2.0</i>	17
2.2.6 <i>Rain Drop Sensor</i>	22
2.2.7 Sensor Suhu dan Kelembaban (DHT11)	25
2.2.8 <i>Relay Module</i>	28
2.2.9 <i>NodeMCU ESP32</i>	29
2.2.10 Software Arduino IDE.....	31
2.2.11 <i>Tanaman Bawang Merah</i>	32
2.2.12 Pompa Air.....	33
2.2.13 <i>Power Supply</i>	34
2.2.14 Irigasi	36
2.2.15 <i>Website</i>	37
2.2.16 <i>Snubber Circuit (RC Snubber Circuit)</i>	38

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat	43
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	43
3.3 Prosedur Penelitian	45
3.5 Tahap Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	51
3.5.1 Rangkaian Sensor DHT11	53
3.5.2 Rangkaian <i>Capacitive Soil Moisture Sensor</i>	54
3.5.3 Rangkaian <i>Raindrop Sensor</i>	54
3.5.4 Rangkaian <i>Relay, Solenoid Valve, Pompa Air, LM2596, dan Power Supply</i>	55
3.6 Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	56
3.7 Metode Penelitian	60
3.8 Metode Analisis Data.....	61
3.9 Rancangan Data Pengujian	61
3.9.1 Pengujian Kelembaban Tanah	61
3.9.2 Pengujian Suhu Udara	63
3.9.3 Pengujian Kelembaban Udara	64
3.9.4 Pengujian Pendeteksi Hujan	64
3.9.5 Pengujian <i>Web Server</i> dan Aplikasi	65
3.10 Rancangan Pengambilan Data	65

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Monitoring Otomasi Sistem Penyiraman.....	68
4.2 Pengujian dan Kalibrasi Sensor <i>Capacitive Soil Moisture</i>	72
4.3 Kalibrasi dan Pengujian Sensor DHT11	78
4.3.1 Kalibrasi Sensor DHT11	78
4.3.2 Pengujian Suhu Udara	80
4.3.3 Pengujian Kelembaban Udara	82
4.4 Pengujian <i>Raindrop Sensor</i>	84
4.5 Pengujian Sistem Monitoring <i>Website</i> dan Aplikasi.....	86

4.6 Pembuatan <i>Database Monitoring Via Internet of Things</i>	90
4.7 Pembuatan Desain Website	92
4.8 Pengunggahan Data Website Ke <i>Hostinger</i>	94
4.9 Pembuatan Desain Aplikasi dan Menghubungkan dengan Database	97
4.10 Hasil Monitoring Menggunakan PhpMyAdmin	99
4.11 Hasil Monitoring Menggunakan Website	101
4.12 Hasil Monitoring Menggunakan <i>Mobile Apps</i>	105
4.13 Pertumbuhan Tanaman bawang Bawang Merah Pada Lokasi Tanah Berbatu	106

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan	109
5.2 Saran	110

DAFTAR PUSTAKA 111

LAMPIRAN..... 122

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Lahan Tanah Berbatu	14
2.2 Konsep IoT.....	17
2.3 Capacitive Soil Moisture Sensor.....	18
2.4 Skematik Rangkaian Capacitive Soil Moisture Sensor.....	19
2.5 Kapasitor Plat Paralel Untuk Menghitung Kapasitansi Pada Material	20
2.6 Rangkaian Sensor Hujan.....	23
2.7 Raindrop Sensor	24
2.8 DHT11	26
2.9 Skema elektronik Menghubungkan DHT11 dan MCU	27
2.10 Relay Module	28
2.11 Pinout ESP32	30
2.12 Software Arduino IDE	32
2.13 Bawang Merah	33
2.14 Pompa Air	34
2.15 Power Supply 12V	36
2.16 Irigasi Sprinkler	37
2.17 Diagram Rangkaian RC Snubber.....	39

2.18	Grafik (a) Tanpa Menggunakan RC Snubber dan (b) Menggunakan RC Snubber	40
3.1	Desain Sistem Alat Penyiraman Otomatis	46
3.2	Lahan Pengujian.....	49
3.3	Flowchart Penelitian	50
3.4	Perancangan Desain Perangkat Keras Sistem	51
3.5	Blok Diagram Gambaran Umum Sistem	52
3.6	Rangkaian Sensor DHT11	53
3.7	Rangkaian <i>Capacitive Soil moisture sensor</i>	54
3.8	Rangkaian Raindrop Sensor	55
3.9	Rangkaian Relay, Solenoid Valve, Pompa Air, LM2596 Dan Power Supply	56
3.10	Diagram Alir Otomasi Sistem Penyiraman.....	57
3.11	Desain Tampilan Website	59
3.12	Desain Tampilan Aplikasi.....	60
3.13	Pengujian Aplikasi	65
4.1	Rangkaian Alat Otomasi Penyiraman	68
4.2	Tampak Luar Box Sistem Otomasi Penyiraman	70
4.3	Penempatan Alat Monitoring Otomasi Penyiraman Pada Lahan Pengujian... ..	71
4.4	Pengukuran sampel	73
4.5	Pengujian sensor capacitive soil moisture	74
4.6	Grafik Kesebandingan Nilai ADC Sensor Capacitive Soil Moisture Terhadap Kadar Air dengan Metode Gravimetri (%).....	76
4.7	Grafik Kesebandingan Nilai Kelembaban Tanah Capacitive Soil moisture Sensor (%) Terhadap Soil Moisture dengan Gravimetri (%)	77

4.8 Pengujian Sensor DHT11 Dengan Alat Ukur Standar HTC-1	79
4.9 Grafik Kesebandingan Nilai Suhu Udara DHT11 (°C) Terhadap Suhu Udara HTC-1 (°C).....	81
4.10 Grafik Kesebandingan Nilai Kelembaban Udara DHT11 (%) Terhadap Kelembaban Udara HTC-1 (%).....	83
4.11 Pengujian Sensor Hujan	85
4.12 Impor Tabel Database	91
4.13 Tampilan Kode HTML	92
4.14 Kode Cascading Style Sheets (CSS).....	93
4.15 Tampilan Kode JavaScript	93
4.16 Folder Public_html.....	94
4.17 Tampilan Halaman Home Website	94
4.18 Tampilan Halaman Monitoring.....	97
4.19 Tampilan Pada File Xml	97
4.20 Tampilan Source Code pada file java	98
4.21 Tampilan Aplikasi.....	99
4.22 Database MySQL pada PhpMyAdmin	100
4.23 Tampilan Awal Website.....	101
4.24 Tampilan Website (a) Tentang Penulis, (b) Latar belakang sistem, (c) Desain Sistem, dan (d) Data Monitoring Sistem	102
4.25 Grafik Data Kelembaban Tanah, Suhu Dan Kelembaban Udara.....	103
4.26 Grafik Data Sensor Hujan	105
4.27 Monitoring Menggunakan Aplikasi	106
4.28 Pertumbuhan Tanaman Bawang Merah.....	107

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Kelembaban Tanah Ideal Untuk Tanaman Berdasarkan Pada Website Javamas Agrophos.....	12
2.2 Spesifikasi ESP32 Board	30
3.1 Alat-alat Penelitian.....	43
3.2 Bahan-bahan Penelitian.....	44
3.3 Perangkat Lunak yang digunakan dalam Penelitian	45
3.4 Data Pengujian Sensor Kelembaban Tanah	61
3.5 Data Pengujian Suhu Udara	63
3.6 Data Pengujian Kelembaban Udara	64
3.7 Data Pengujian Raindrop Sensor dan Hasil Deteksi	64
3.8 Data Nilai Sensor dan Hasil Observasi Otomasi Sistem Penyiraman.....	67
4.1 Data Pengujian Sensor <i>Capacitive Soil Moisture</i> dengan Metode Gravimetri	74
4.2 Data Hasil Pengujian Suhu Udara Pada Sensor DHT11	80
4.3 Data hasil pengujian kelembaban udara pada sensor DHT11.....	82
4.4 Data Pengujian Raindrop Sensor dan Hasil Deteksi	85
4.5 Data Pengamatan Transmisi Data Sensor Untuk Website	87
4.6 Data Pengamatan Transmisi Data Sensor Untuk Aplikasi.....	87
4.7 Delay Transmisi Data Dari Sensor Ke Database MySQL Untuk Website	88
4.8 Delay Transmisi Data Dari Sensor Ke Database MySQL Untuk Aplikasi....	89

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertanian memegang peranan yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan pangan manusia. Salah satu tanaman yang turut berkontribusi dalam sektor pertanian adalah tanaman bawang merah yang memiliki nama latin *Allium ascalonicum* L. dan termasuk dalam famili *Liliaceae*. Tanaman bawang merah merupakan salah satu jenis tanaman semusim (*annual*) yang sering ditanam di berbagai daerah di seluruh dunia (Istiqomah *et al.*, 2022). Tanaman bawang merah sebagai tanaman hortikultura tidak hanya memberikan sumbangan besar dalam pemenuhan kebutuhan pangan tetapi juga memiliki peluang besar dalam sektor agribisnis (Aliismet *et al.*, 2023). Tanaman ini juga salah satu komoditas yang sangat diperlukan manusia dan memiliki nilai ekonomis tinggi (Adytia *et al.*, 2023). Selama beberapa tahun terakhir bawang merah termasuk enam besar komoditas sayuran komersial yang diekspor termasuk kubis, blumkol (kubis bunga), cabai, tomat, dan kentang. Alasan mendasar cerahnya prospek bawang merah adalah sebagai bumbu masak dan bahan baku obat-obatan sehingga menyebabkan tingginya permintaan bawang merah di pasaran (Rosna *et al.*, 2021).

Berdasarkan hasil pengumpulan dan pengolahan data Survei Pertanian Hortikultura (SPH) tahun 2021, terdapat 5 (lima) jenis tanaman sayuran yang memberikan kontribusi produksi terbesar terhadap total produksi sayuran di Indonesia, yaitu: bawang merah (13,54%), kubis (9,69%), cabai rawit (9,37%), kentang (9,19%) dan cabai besar gabungan cabai besar TW/teropong dan cabai keriting (9,19%). Sementara, sisanya (20 jenis sayuran lainnya) persentase produksinya kurang dari 9,00% dengan total kontribusi sebesar 49,02%. Berdasarkan laporan Badan Pusat Statistik tahun 2021, produksi bawang merah mencapai 2 juta ton, kubis mencapai

1,43 juta ton, cabai rawit mencapai 1,38 juta ton, kentang mencapai 1,36 juta ton, dan cabai besar juga mencapai 1,36 juta ton. Menurut data yang dirilis oleh Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2022, Indonesia memproduksi bawang merah sebanyak 1,97 juta ton yang turun 1,51% dibandingkan pada tahun sebelumnya yang mencapai 2 juta ton. Provinsi Jawa Tengah menjadi produsen bawang merah terbesar pada 2022 dengan luas panen mencapai 53 ribu hektare dan produksi sebesar 556.510 ton, setara dengan 28% dari produksi nasional. Provinsi Jawa Timur dengan produksi sebesar 478.393 ton (24% dari produksi nasional) dan luas panen sekitar 51 ribu hektare. Provinsi-provinsi Sumatera Barat, Nusa Tenggara Barat, dan Jawa Barat menempati peringkat 3-5 sebagai produsen bawang merah terbesar pada 2022 dengan produksi sekitar 200 ribu ton. Sulawesi Selatan dengan produksi mencapai 175.160 ton. Provinsi Sumatera Utara, Bali, D.I. Yogyakarta, Jambi berada di posisi 6 hingga 10 dengan produksi bawang merah antara 16 hingga 64 ribu ton pada tahun 2022 (Badan Pusat Statistik, 2024).

Budidaya bawang merah dapat ditanam pada lahan kering dan membutuhkan irigasi (Ruwaida *et al.*, 2021). Namun, penyiraman tanaman bawang merah masih umum dilakukan secara manual, memerlukan tenaga manusia dengan menggunakan peralatan sederhana seperti gayung, selang, dan ember. Petani harus menyiram tanaman bawang merah satu persatu pada tiap rumpun bawang sampai tanah benar-benar basah (Bar *et al.*, 2021). Tantangannya, pada takaran air untuk penyiraman secara manual kadang tidak merata. Tanaman bawang merah memerlukan pasokan air yang cukup untuk tumbuh secara optimal dan menghasilkan panen yang maksimal (Azizah dan Thamrin, 2021). Penyiraman merupakan pekerjaan yang bersifat rutinitas paling penting untuk tanaman bawang merah agar terus tumbuh dan berkembang. Akan tetapi, terkadang petani tidak punya cukup waktu untuk menyiram tanaman serta kurang memahami berapa banyak air yang dibutuhkan oleh tanaman (Asniati *et al.*, 2021). Kondisi tanah yang tepat untuk tanaman melibatkan pemantauan yang cermat terhadap ketersediaan air, karena kekurangan air akan mengakibatkan tanaman mengering dan akhirnya mati, sedangkan kelebihan air dapat menyebabkan busuknya umbi atau terserang hama. Dengan memastikan ketersediaan air yang mencukupi secara konsisten, maka tanaman

bawang merah dapat tumbuh dengan optimal dan mengalami perkembangan yang baik (Kamilah *et al.*, 2023).

Agar dapat memberikan hasil yang diharapkan, tanah sebagai komponen penting dalam pertanian harus dipertimbangkan sebaik mungkin (Mautuka *et al.*, 2022). Terutama di daerah dengan tanah berbatu yang tersebar di berbagai wilayah Indonesia seperti Nusa Tenggara Barat, Jawa Barat, Jawa Tengah, Sulawesi dan daerah lainnya (Aprilia dan Sukur, 2022). Pulau Timor, Nusa Tenggara Timur terkenal dengan kondisi tanahnya yang berbatu dan kering (Hikmat *et al.*, 2022). Hal ini menyebabkan kesulitan dalam bertani, terutama dalam budidaya sayuran. Meskipun demikian, upaya penanaman sayuran di atas tanah berbatu dan lahan kering telah dilakukan (Saragih *et al.*, 2018). Penanaman bawang merah pada tanah berbatu juga dilakukan di Kabupaten Enrekang, Provinsi Sulawesi Tengah (Pratami, 2018).

Tanah Litosol yang merupakan jenis tanah berbatu dengan lapisan yang tipis, berasal dari batuan keras yang belum mengalami pelapukan sempurna, sehingga sulit untuk mendukung pertumbuhan tanaman (Widiasmadi, 2023). Dalam konteks budidaya tanaman bawang merah di lokasi tanah berbatu, selain penentuan varietas bawang merah yang terbaik pada lahan berbatu (Latif dan Ashari, 2019), penyiraman yang tepat sangat penting untuk memastikan pertumbuhan dan produktivitas yang optimal karena ketersediaan air tanah sering menjadi tantangan (Rustan dan Mansur, 2020). Lokasi tanah berbatu cenderung memiliki daya resapan air yang rendah dan kemampuan menyimpan air yang terbatas (Mulyani dan Suwanda, 2019). Meskipun tidak menghendaki banyak hujan karena saat musim hujan tanaman bawang merah mudah terserang hama, tetapi tanaman bawang merah memerlukan pasokan air yang cukup selama pertumbuhannya melalui penyiraman karena peka terhadap curah hujan dan intensitas hujan yang tinggi (Anam *et al.*, 2022).

Pemanfaatan teknologi sudah sangat maju sehingga penggunaan alat di bidang pertanian dalam aktivitas sehari-hari dapat di otomasi sehingga manusia tidak selalu menggunakan cara-cara tradisional (Pangestika *et al.*, 2020). Penelitian tentang

penyiraman otomatis tanaman bawang merah sebelumnya telah dilakukan oleh Nurkamid dan Gunawan, 2019 menggunakan mikrokontroler arduino mega dan sensor kelembaban tanah FC-28 dengan pengujian dilakukan di lokasi persawahan tanaman bawang merah. Penelitian lain dilakukan oleh Sijabat *et al.*, 2022 menggunakan mikrokontroler arduino atmega328P dan sensor kelembaban tanah tipe YL-69. Kedua penelitian tersebut berupa rancang bangun dengan keluaran yang dihasilkan berupa nilai kelembaban ditampilkan pada layar LCD. Mikrokontroler lainnya yang digunakan pada penelitian sebelumnya berupa Arduino Uno dengan sensor kelembaban tanah YL-69, sensor suhu udara DHT11, dan sensor pH tanah untuk mengontrol penyiraman tanaman bawang merah dengan metode logika fuzzy (Anis dan Budi, 2023).

Sistem penyiraman otomatis tanaman bawang merah dapat dirancang dengan berbasis *Internet of Things (IoT)* sehingga dapat mengurangi beban aktivitas para petani juga memudahkan untuk mengetahui informasi data tanaman dan terkontrol kondisinya secara optimal dari jarak jauh melalui *smartphone* (Gunawan dan Fatimah, 2020). Pada sistem penyiraman otomatis dapat menggunakan bantuan aplikasi seperti blynk (Anugrah *et al.*, 2021), website dengan notifikasi pada aplikasi telegram (Cahyani *et al.*, 2023), notifikasi whatsapp (Fadhilah *et al.*, 2021), serta aplikasi android dengan UML (Bagaskara *et al.*, 2023) untuk yang memberikan informasi ke user. Sistem display dimanfaatkan untuk memantau taraf kelembaban tanah dan hasilnya ditampilkan pada *smartphone* (Sarwansah *et al.*, 2022). Penelitian yang dilakukan Wayangkau *et al.*, 2020 memanfaatkan IoT untuk sistem pemantauan kelembaban dan suhu tanah bawang merah menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dimana semua perangkat dan komponen dirancang untuk beroperasi di lingkungan yang dibuat khusus dalam bentuk prototipe rumah kaca. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Wati (2020) menyimpulkan bahwa modul wifi ESP8266 tidak cocok untuk penelitian yang cukup lama karena gangguan yang sering terjadi.

Pada penelitian ini perancangan sistem untuk menyelesaikan permasalahan tersebut dengan membuat alat penyiraman otomatis tanaman bawang merah dengan menggunakan sistem NodeMCU ESP32 sebagai pusat kendali. NodeMCU ESP32

dipilih karena memiliki keunggulan jika dibandingkan ESP8266 karena memiliki *prosesor dual-core* yang lebih kuat (*Xtensa Dual Core 32-bit LX6*), kinerja tinggi dengan *600 Dhrystone Million Instructions Per Second (DMIPS)*, integrasi Bluetooth dan Wifi dalam *System on Chip (SoC)*, serta mempunyai pin GPIO paling banyak dibandingkan dengan ESP8266 (Widyatmika *et al.*, 2021). Sistem juga akan didukung oleh beberapa komponen penting elektronika berupa *capacitive soil moisture sensor* sebagai pendeteksi kelembaban tanah atau kadar air tanah, DHT11 sebagai pendeteksi suhu dan kelembaban udara serta *raindrop sensor* sebagai pendeteksi hujan (Syafaat *et al.*, 2023).

Fitur NodeMCU ESP32 memungkinkan sistem terhubung dengan *smartphone* melalui jaringan WiFi yang bekerja sebagai alat kontrol untuk penyiraman otomatis pada tanaman bawang merah pada lokasi tanah berbatu. Diharapkan sistem ini dapat mengoptimalkan penyiraman tanaman bawang merah dengan memanfaatkan dua relay untuk mengontrol status on/off dari *solenoid valve* dan pompa untuk penyemprotan pestisida. Selain itu, akan dikembangkan perangkat lunak berbasis website dan aplikasi seluler untuk memudahkan pemilik tanaman atau petani dalam mengontrol dan memonitor tanaman secara *real time*. Metode penyiraman yang akan digunakan adalah irigasi sprinkler. Dengan demikian, penelitian ini akan berfokus pada pengembangan sebuah sistem yang dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam perawatan tanaman bawang merah, terutama dalam kondisi tanah yang tidak ideal seperti tanah berbatu. Berdasarkan uraian diatas, maka akan dilakukan penelitian dengan judul Otomasi Sistem Penyiraman Tanaman Bawang Merah Pada Kondisi Tanah Berbatu Berbasis *Internet of Things*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana merancang alat penyiraman otomatis untuk digunakan pada lokasi tanah berbatu?
2. Bagaimana langkah-langkah dalam mendesain mikrokontroler sebagai komponen dalam sistem alat penyiraman otomatis?

3. Bagaimana cara pengguna untuk mengakses data keluaran dari sistem penyiraman otomatis yang telah diimplementasikan?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Dapat merancang alat penyiraman otomatis untuk digunakan pada lokasi tanah berbatu.
2. Dapat memahami langkah-langkah dalam mendesain mikrokontroler sebagai komponen dalam sistem alat penyiraman otomatis.
3. Mampu memahami cara pengguna untuk mengakses data keluaran dari sistem penyiraman otomatis yang telah diimplementasikan.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Membantu mempertahankan tingkat kelembaban tanah yang optimal. Hal ini berpotensi meningkatkan produktivitas pertanian dengan menyediakan kondisi tumbuh yang lebih baik bagi tanaman.
2. Tanaman bawang merah pada tanah berbatu dapat lebih tahan terhadap stres lingkungan seperti kekeringan atau kondisi tanah yang kurang menguntungkan, dan hama.
3. Mengoptimalkan penggunaan dan mencegah pemborosan air.
4. Hasil penelitian ini dapat diimplementasikan secara nyata dalam budidaya tanaman bawang merah di tanah berbatu.
5. Penelitian ini akan meningkatkan pemahaman tentang interaksi antara tanaman, tanah, dan teknologi penyiraman otomatis. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai dasar untuk penelitian lebih lanjut dan pengembangan teknologi serupa.

1.5 Batasan Masalah

Demi hasil penelitian yang lebih terfokus maka permasalahan yang akan dibahas akan dibatasi dengan ketentuan berikut:

1. Jenis mikrokontroler yang digunakan adalah NodeMCU ESP32.
2. Sensor yang digunakan adalah *capacitive soil moisture sensor*, sensor DHT11 dan *rain drop sensor*.
3. Penelitian ini berfokus pada tanaman bawang merah (*Allium ascalonicum L.*).
4. Fokus pada tanah berbatu sebagai media tanam untuk pertumbuhan bawang merah.
5. Fokus akan diberikan pada kemampuan pemantauan jarak jauh melalui *website* dan *mobile app*, memungkinkan pemilik tanaman untuk mengakses dan mengendalikan sistem secara online.
6. Penelitian ini difokuskan pada otomasi penyiraman berdasarkan kelembaban tanah pada tanaman, suhu dan kelembaban udara di sekitar tanaman serta pendeteksi hujan dan melihat bagaimana alat penyiraman otomatis dapat menjaga kelembaban tanah pada tanaman bawang merah pada lokasi tanah berbatu.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Nurkamid dan Gunawan (2019) dalam jurnalnya yang berjudul Rancang Bangun Alat Penyiraman Otomatis Tanaman Bawang Merah Menggunakan Sensor Kelembaban Tanah. Penelitian ini memanfaatkan mikrokontroler arduino mega dan sensor kelembaban tanah tipe FC 28. Pengujian dilakukan di lokasi persawahan tanaman bawang merah Desa Ngurensiti Kecamatan Wedarijaksa Kabupaten Pati Jawa Tengah dengan metode yang digunakan adalah *Research and Development (R&D)*. Nilai kelembaban ditentukan berdasarkan sistem pakar (*expert system*) petani yaitu dengan menentukan batas bawah dan batas atas dari persentase kelembaban. Pengujian dilakukan pada 2 kondisi yaitu kondisi tanah kering dan kondisi basah. Hasil penelitian menghasilkan prototipe alat penyiraman otomatis yang menggunakan sensor kelembaban tanah untuk menyiram tanaman bawang merah.

Penelitian berikutnya dilakukan oleh Sijabat et al (2022) dalam jurnal penelitiannya yang berjudul Rancang Automatic Sprinkler Pada Tanaman Bawang Menggunakan Teknik PWM Berbasis Arduino. Peneliti membuat prototype aplikasi penyiraman automatic sprinkler pada tanaman bawang menggunakan mikrokontroler arduinoatmega328P dan sensor kelembaban tanah YL-69. Pengembangan sistem menggunakan metode *Pulse Width Modulation (PWM)* untuk mengatur kecepatan pompa penyiraman saat kondisi tanah kering, lembab dan basah. Prinsip kerjanya ketika kelembaban tanah mencapai ambang batas antara (476-1023) maka sistem mengaktifkan sistem penyiraman 100%, jika (340-475) maka sistem mengaktifkan sistem penyiraman 75% dan jika (150-339) kelembaban tanah masih dianggap cukup untuk kebutuhan tanaman bawang. Debit air diatur dengan memberi nilai

duty cycle pada pompa air sesuai dengan kelembaban tanah yang terdeteksi. Jika terdeteksi kering maka duty cycle pada pompa air adalah 100%. Jika terdeteksi sedang maka duty cycle 75%. Jika terdeteksi basah maka duty cycle 0%.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Wati (2020) yang berjudul Otomatisasi Penyiraman Tanaman Bawang Merah Dengan Metode Irigasi Kabut Berbasis Arduino Dan IoT yang bertujuan untuk merancang otomatisasi penyiraman tanaman bawang merah dan juga mengetahui perbedaan bawang bedeng otomatis dan bedeng manual berdasarkan parameter-parameter hama dan penyakit yang menyerang, pertumbuhan tinggi, jumlah batang, jumlah umbi, dan berat umbi yang dihasilkan selama masa tanam bawang merah. Penelitian ini memanfaatkan sistem otomasi berbasis mikrokontroler Arduino Uno R3, modul ESP8266, sensor kelembaban tanah (YL-69) dan sensor pendeteksi hujan (YL-83) dengan aplikasi android Blynk yang memberikan informasi ke pengguna. Peneliti menyimpulkan bahwa modul wifi ESP8266 tidak cocok untuk penelitian yang cukup lama karena gangguan yang sering terjadi dan diperlukan koneksi internet yang lebih stabil dan kabel yang dihubungkan dengan baik untuk pengiriman yang berhasil. Untuk bawang merah, tanaman dirawat secara manual lebih rentan terhadap penyakit daripada yang dirawat secara otomatis.

Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh Wayangkau et al (2020) dalam jurnal penelitiannya yang berjudul *Utilization of IoT for soil moisture and temperature monitoring system for onion growth*. Penelitian ini bertujuan untuk membuat sistem monitoring otomatis berbasis mikrokontroler arduino untuk mengukur kelembaban tanah dan suhu pada lahan bawang merah. Metode yang digunakan adalah waterfall methods dengan merancang alat monitoring otomatis untuk mengetahui kelembaban dan suhu tanah sehingga dapat memberikan informasi mengenai pertumbuhan dan pemeliharaan lahan bawang merah. Sistem ini menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266, *capacitive Soil Moisture sensor*, dan sensor DHT11 dengan aplikasi android yang memberikan informasi ke user. Semua perangkat dan komponen dirancang untuk beroperasi di lingkungan yang dibuat khusus dalam bentuk prototipe rumah kaca. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa alat dan sistem yang dibuat mampu menangkap kelembaban dan suhu tanah,

serta menjaga kelembaban dan suhu tanah pada kondisi cuaca mendung, basah, maupun panas.

Penelitian yang dilakukan oleh Anugrah *et al* (2021) dalam jurnal penelitiannya yang berjudul Penerapan Sistem Monitoring Dan Kendali Pintar Untuk Tanaman Terung Berbasis Internet of Things Dengan Metode Penyiraman Irigasi Tetes. Sistem ini menggunakan mikrokontroler NodeMCU V3, sensor Soil Moisture FC-28, dan sensor DHT11 dengan aplikasi android Blynk yang memberikan informasi ke user. Sistem dapat melakukan proses penyiraman irigasi tetes secara otomatis melalui modul relay dan hasil deteksi sensor dapat dipantau di aplikasi Blynk yang tersimpan ke database dan dapat diunduh dalam format (.csv).

Penelitian yang dilakukan oleh Anis dan Budi (2023) dalam jurnal penelitiannya yang berjudul Sistem Penyiraman Tanaman Bawang Merah berdasarkan Kondisi Suhu Udara, Kelembaban Tanah, dan PH Tanah dengan Metode Logika Fuzzy. Penelitian ini memanfaatkan sistem otomasi berbasis Arduino UNO dan digunakan sensor kelembaban tanah YL-69, sensor suhu udara DHT11, dan sensor pH tanah untuk mengontrol penyiraman tanaman bawang merah dengan metode logika fuzzy sebagai sistem klasifikasi kondisi saat melakukan penyiraman sesuai kebutuhan yang dibutuhkan oleh tanaman. Hasil pengujian sistem dinyatakan dapat bekerja dengan baik dan dapat melakukan penyiraman berdasarkan kebutuhan tanaman bawang merah.

Penelitian yang dilakukan oleh Bagaskara *et al* (2023) dalam jurnal penelitiannya yang berjudul Sistem Kontrol Dan Monitoring Pada Tanaman Bawang Merah Berbasis IOT. Penelitian ini menggunakan konsep *green house* dikarenakan tanaman bawang merah rentan terhadap air hujan yang dapat menyebabkan tanaman menjadi busuk. Sistem monitoring dan kontroling greenhouse otomatis dengan mengimplementasikan logika fuzzy dengan memanfaatkan NodeMCU ESP8266, sensor kelembaban tanah YL-69, sensor ultrasonik dan sensor DHT11 yang hasil pembacaan sensornya dimonitor dengan website berisi hasil pembacaan sensor dan notifikasi pada aplikasi telegram. Hasil pengujian logika Fuzzy

menunjukkan bahwa target output nilai PWM dengan hasil output mikrokontroler telah menunjukkan hasil yang sama.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Kelembaban Tanah

Tanah pertanian adalah media alami tempat tumbuhnya tanaman. Tanah berasal dari pelapukan batuan dan sisa-sisa bahan organik (Asrida, 2020). Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang secara fisik berfungsi sebagai tempat tumbuh dan berkembangnya akar, memenuhi kebutuhan air, dan menyimpan dan menyediakan nutrisi (senyawa organik dan anorganik serta elemen esensial). Secara biologis, tanah berfungsi sebagai habitat biota yang membantu tanaman mendapatkan hara dan zat tambahan (Sasmita dan Haryanto, 2021). Selain itu, tanah terdiri dari empat bahan utama yaitu bahan mineral, bahan organik, air, dan udara (Notohadiprawiro, 2021). Salah satu faktor pembatas utama dalam pertanian adalah kekurangan air yang dapat memengaruhi proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman serta hasil produksi tanaman. Kemarau jangka panjang disebabkan oleh ketersediaan air tanah yang semakin menurun serta perubahan iklim yang tidak stabil. Akibatnya, tanaman kekurangan air (Wahyudi, 2020). Kelembaban tanah adalah jumlah air yang tersimpan di antara pori-pori tanah sangat dinamis. Kelembaban tanah adalah air yang mengisi sebagian atau seluruh pori-pori tanah di atas *water table* (air tanah yang terperangkap di atas permukaan air tanah). Definisi yang lain menyebutkan bahwa kelembaban tanah adalah jumlah air yang tersimpan di antara pori-pori tanah karena penguapan dan perkolasi di permukaannya (Marcos dan Muzaki, 2022). Tingkat kelembaban tanah yang tinggi dapat menimbulkan permasalahan dan keadaan tanah yang terlalu lembab mengakibatkan kesulitan dalam melakukan kegiatan permanen hasil pertanian atau kehutanan yang menggunakan alat-alat mekanik. kelembaban tanah digunakan untuk mengelola sumber daya air, mengatur irigasi, dan memprediksi cuaca (Mardika dan Kartadie, 2019). Kelembaban tanah ideal untuk tanaman berdasarkan pada website Javamas Agrophos ditunjukkan pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Kelembaban Tanah Ideal Untuk Tanaman Berdasarkan Pada Website Javamas Agrophos

Jenis Tanaman	Kelembaban Tanah Ideal	Jenis Tanaman	Kelembaban Tanah Ideal	Jenis Tanaman	Kelembaban Tanah Ideal
Cabe/Tomat	40%-60%	Kubis	40%-60%	Selada	30%-50%
Terong	40%-60%	Bunga Kol	40%-60%	Seledri	40%-60%
Jagung	30%-50%	Bawang-bawangan	30%-50%	Pepaya	30%-50%
Melon	50%-70%	Kentang	30%-50%	Anggur	30%-50%
Semangka	50%-70%	Wortel	30%-50%	Strawberry	40%-60%
Mentimun	50%-70%	Kacang Tanah	30%-50%	Bunga Melati	30%-50%
Gambar/Labu-labuan	40%-60%	Kedelai/Kacang Hijau	30%-50%	Pohon buah-buahan	30%-50%

Sumber: (Auhaz, 2022).

Mengukur kadar air tanah dapat menggunakan metode *Gravimetri* sebagai standar acuan. Prinsip metode ini adalah dengan cara melakukan perbandingan antara massa air dengan massa butiran tanah (massa tanah dalam kondisi kering). Persamaan yang digunakan pada metode ini pada **Persamaan 2.1** dan **2.2**.

$$MA = MTB - MTK \quad (2.1)$$

$$KD = \frac{MA}{MTK} \times 100\% \quad (2.2)$$

dimana, MTB adalah Massa tanah basah (g), MTK adalah Massa tanah kering (g), KD adalah Kadar air (%) dan MA adalah Massa air (g) (Nuraida *et al.*, 2021).

2.2.2 Lokasi Tanah Berbatu

Lahan kering beriklim kering bisa dikatakan identik dengan lahan berbatu. Karena keterbatasan air, penampang di daerah beriklim kering biasanya dangkal dan berbatu. Proses pelapukan lambat, sehingga batu-batu tetap ada di tanah. Untuk pertanian tanaman pangan, lahan berbatu merupakan masalah, terutama batu yang muncul di permukaan dengan berbagai ukuran dan batu yang berada di dalam tanah. Dalam hal aspek keefektifan luas tanam, batuan tersebut dapat mengurangi jumlah area yang dapat ditanami dalam satu satuan luasnya. Selain itu, tanah berbatu dapat membatasi jumlah alsintan yang dapat digunakan. Akibatnya, alsintan mungkin tidak digunakan secara optimal atau bahkan tidak dapat digunakan sama sekali.

Karena pisau traktor akan aus dengan cepat, pengolahan tanah menggunakan mekanisasi (traktor) akan sulit dilakukan di daerah seperti ini. Area beriklim kering, bersama dengan lahan bersolum dangkal dan berbatu. Bersolum dangkal mengacu pada kondisi tanah di mana lapisan tanah subur yang dapat digunakan untuk pertanian atau tanaman lainnya terbatas dalam kedalaman. Tanah yang dangkal memiliki keterbatasan dalam menyediakan air dan unsur hara, dan kedalamannya sangat menentukan kemampuan lahan untuk diolah atau digunakan (Mulyani dan Suwanda, 2019).

Batu-batuan di atas permukaan tanah ada dua macam, yaitu batuan bebas yang terletak di atas permukaan tanah dan batuan yang tersingkap di atas permukaan tanah yang merupakan bagian dari batuan besar yang terbenam di dalam tanah (Hardjowigeno, 2007). Batuan yang terlalu banyak pada lahan dapat menghambat perkembangan akar tanaman. Dari seluruh air hujan di daerah tropis, sekitar 75 % persen dari air hujan tersebut masuk ke dalam tanah dalam bentuk kelembaban tanah pada tanah tidak jenuh dan sebagai air tanah pada tanah jenuh atau tanah berbatu (Armanto dan Puspa, 2020)

Lahan berbatu disebut sebagai tanah litosol yaitu jenis tanah yang mengandung banyak pasir kasar dan kerikil yang belum melapuk dengan lapisan tanah yang begitu tebal. Tanah litosol terbentuk dari batuan beku dari proses letusan gunung berapi maupun sedimen keras yang proses pelapukan kimia (bantuan organisme hidup) dan fisiknya (bantuan sinar matahari dan hujan) belum sempurna sehingga struktur asal batuan induknya masih terlihat (Gunawan *et al.*, 2020). Daerah dengan tanah berbatu yang tersebar di berbagai wilayah Indonesia seperti Nusa Tenggara Barat, Jawa Barat, Jawa Tengah, Sulawesi dan daerah lainnya (Aprilia dan Sukur, 2022). Pulau Timor, Nusa Tenggara Timur (Hikmat *et al.*, 2022), terkenal dengan kondisi tanahnya yang berbatu dan kering (Saragih *et al.*, 2018). Bentuk fisik tanah berbatu ditunjukkan pada **Gambar 2.1** berikut.



Gambar 2.1 Lahan Tanah Berbatu (Mulyani dan Suwanda, 2019)

2.2.3 Kelembaban dan Suhu Udara

Dalam pengertian kualitatif, suhu adalah ukuran yang digunakan untuk menunjukkan seberapa dingin, panas, atau hangat suatu tempat dalam percakapan sehari-hari. Panas dapat ditransfer dari satu benda ke benda lain melalui proses radiasi, konduksi, atau konveksi. Yang perlu ditekankan adalah bahwa suhu dan panas tidak sama. Suhu bukanlah kualitas panas, suhu itu adalah intensitas panas (Roby dan Junadhi, 2019). Banyaknya uap air dalam udara atau atmosfer disebut kelembaban udara (Fadilah dan RI, 2023). Jumlah ini yang berkisar antara nol persen dan lima persen dari jumlah massa udara, hanya merupakan sebagian kecil dari seluruh atmosfer. Namun, komponen ini sangat penting untuk cuaca dan iklim (Roby dan Junadhi, 2019). Uap air di udara dapat berasal dari air tanah, air permukaan bumi, atau air penguapan tumbuh-tumbuhan. Namun, banyaknya air di udara dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk sumber uap, suhu, tekanan, dan angin, serta ketersediaan air (Soraya *et al.*, 2020).

Pengaruh suhu terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman dapat dibedakan menjadi dua kategori. Pertama, ada batas suhu yang mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Kedua, ada batas suhu yang tidak mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Pada tanaman bawang merah untuk tumbuh dengan baik, tanaman bawang merah membutuhkan suhu udara antara 25-32°C, dan kelembaban udara sebanyak 50-70%. Tanaman bawang merah dapat

membentuk umbi di tempat dengan suhu udara rata-rata 22°C, tetapi jika suhu turun di bawah 22 °C tidak akan membentuk umbi (Bagaskara *et al.*, 2023).

2.2.4 Internet of Things (IoT)

Kevin Ashton berasal dari Inggris, salah satu pendiri dan direktur eksekutif *Center Automatic Identification MIT* merupakan orang pertama yang mengusulkan IoT pada tahun 1999 (Rusito, 2021). Pada dasarnya, istilah *Internet of Things* mengacu pada hal-hal yang dapat dikenali sebagai representasi ideal dari sistem internet (Bijanto *et al.*, 2023). Pada *Internet of Things*, kata "*Things*" mengacu pada berbagai perangkat dan perangkat yang sudah ada yang dihubungkan dengan bantuan internet, yang memungkinkan masyarakat untuk terhubung dengan perangkat yang diinginkan. Banyak definisi IoT telah diberikan sejak itu, termasuk definisi yang sebagian besar berfokus pada persyaratan konektivitas dan sensor untuk entitas yang terlibat dalam lingkungan IoT. Namun, definisi-definisi sebelumnya mencerminkan kebutuhan dasar IoT dan definisi-definisi baru meningkatkan pentingnya jaringan objek otonom yang penting untuk identifikasi dan integrasi layanan (Endra *et al.*, 2019).

Menurut Burange dan Misalkar (2015) dalam jurnal yang ditulis oleh Siswanto bahwa "*Internet of Things (IoT)* adalah sebuah sistem di mana benda-benda dan orang-orang diberikan identitas eksklusif serta kemampuan untuk mentransfer data melalui jaringan tanpa memerlukan interaksi langsung antara manusia dengan manusia atau manusia dengan komputer" (Siswanto *et al.*, 2020). *Internet of Things (IoT)* adalah kemajuan dalam bidang keilmuan yang bertujuan untuk mengoptimalkan kehidupan melalui penggunaan peralatan pintar dan sensor cerdas yang terhubung ke jaringan internet (Selay *et al.*, 2022).

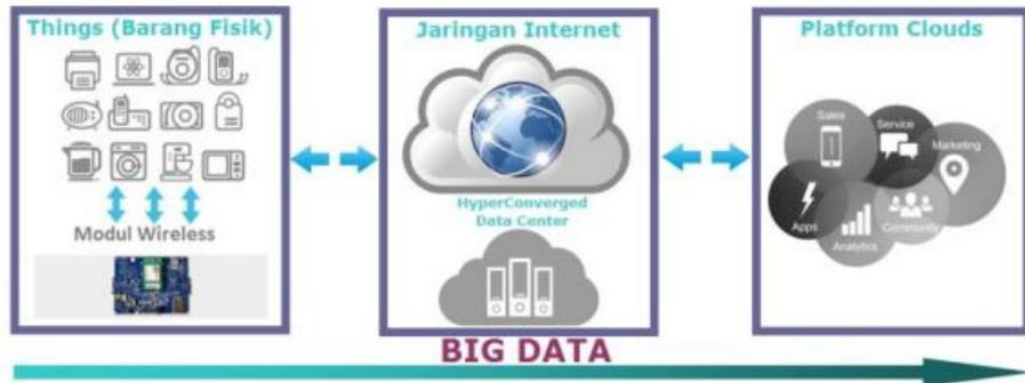
IoT menjadi bidang penelitian tersendiri sejak berkembangnya teknologi internet dan alat komunikasi lainnya. Semakin berkembangnya kebutuhan teknologi masyarakat maka semakin banyak pula penelitian yang dilakukan diberbagai bidang khususnya pertanian modern. IoT adalah struktur dimana objek, orang disediakan dengan identitas eksklusif dan kemampuan untuk pindah data melalui

jaringan tanpa memerlukan dua arah antara manusia ke manusia yaitu sumber ke tujuan atau interaksi manusia ke komputer. Mengoptimalkan kehidupan melalui penggunaan peralatan pintar dan sensor cerdas yang terhubung ke jaringan internet adalah perkembangan keilmuan yang sangat menjanjikan yang dikenal sebagai IoT (Hidayat dan Sari, 2021).

Setiap benda fisik yang digunakan setiap hari mengandung sensor, termasuk ponsel, motor listrik, lampu lalu lintas, sensor kode batang, dan benda-benda lainnya. Sensor ini secara terus menerus melaporkan status operasional divisi. Namun, pengumpulan data ini akan menguntungkan pengguna. Semua perangkat ini dapat terhubung ke platform IoT dan membuang datanya ke dalam satu bahasa sehingga dapat berkomunikasi satu sama lain. Data dihasilkan oleh beberapa sensor dan dikirim ke platform IoT, di mana data tersebut digabungkan dengan aman dengan data dari sumber lain. Informasi penting diambil dari data sesuai kebutuhan setelah pemrosesan tambahan. Data tersebut kemudian dibagikan dengan perangkat lain untuk meningkatkan pengalaman pengguna, otomatisasi yang lebih baik, dan efisiensi yang lebih besar (Vogel *et al.*, 2020).

Cara kerja konsep IoT mengacu pada 3 elemen utama dalam arsitektur IoT yaitu: Things (barang fisik yang dilengkapi modul IoT), jaringan internet atau perangkat yang terhubung ke internet seperti modem dan router nirkabel cepat, serta *platform clouds* tempat penyimpanan aplikasi dan database. Dasar kerja perangkat IoT adalah bahwa setiap perangkat di dunia nyata memiliki identitas yang unik, dapat dikalikan di sistem komputer, dan dapat direpresentasikan dalam bentuk data di sistem komputer. Gagasan pengenalan IoT yang pertama kali digunakan adalah kode batang (barcode), kode QR (*QR Code*), dan *Radio Frequency Identification* (RFID). Dalam proses perkembangan, sebuah item dapat memiliki alamat IP (*IP address*) yang memungkinkannya untuk berkomunikasi dengan item lain yang memiliki alamat IP tersebut dengan menggunakan jaringan internet. *Internet of things* bekerja dengan menggunakan argumentasi pemrograman, yang memungkinkan sesama mesin terhubung secara otomatis tanpa campur tangan manusia dan di mana pun. Kedua interaksi mesin tersebut terhubung melalui internet, sementara manusia

hanya berfungsi sebagai pengatur dan pengawas alat tersebut bekerja secara langsung (Efendi, 2018). Konsep IoT ditunjukkan pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Konsep IoT (Efendi, 2018)

2.2.5 *Capacitive Soil moisture sensor V2.0*

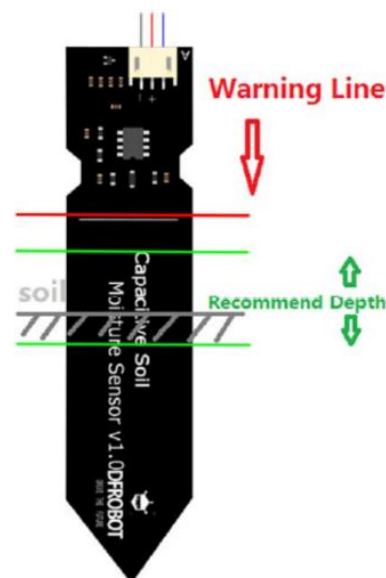
Soil moisture sensor merupakan modul pendeteksi kadar air tanah yang dapat diakses menggunakan mikrokontroler seperti ESP32. Sensor kelembaban tanah ini dapat digunakan di banyak sistem seperti sistem pertanian atau tanaman dan bidang lainnya (Effendi *et al.*, 2022). *Capacitive soil moisture sensor* digunakan untuk mendeteksi tingkat kelembaban secara kapasitif, bekerja dengan mengukur kapasitansi untuk menentukan kadar air di dalam tanah. Prinsip kerjanya adalah dengan mendeteksi perubahan kapasitansi tanah, yang menunjukkan tingkat kadar air tanah. Modul sensor kelembaban tanah ini mengukur kandungan air tanah dengan menggunakan kapasitansi bukan resistansi (Placidi *et al.*, 2020). Salah satu kelemahan sensor resistansi tipe garpu yang paling umum adalah bahwa probe yang dimasukkan ke dalam tanah harus terbuat dari logam telanjang yang konduktif dan arus listrik kecil yang mengalir di antara keduanya akan mengkorosi probe seiring waktu. Probe kapasitif memungkinkan logam sensor yang dimasukkan ke dalam tanah ditutup dengan penahan solder sehingga arus listrik tidak mengalir melalui tanah sama sekali (Riskiono *et al.*, 2020). Alasan menggunakan sensor jenis ini yaitu sensor ini mempunyai kelebihan yaitu tidak mudahnya korosi pada probenya yang memberikan masa pakai yang lebih tahan lama (Suranata dan Prathama, 2021). Sensor kelembaban tanah jenis kapasitif lebih stabil jika berada pada media

tanah sedangkan, jenis resistif datanya lebih stabil dibanding dengan jenis kapasitif jika berada di media air dan udara (Setyawan *et al.*, 2024).

Spesifikasi dari sensor ini sebagai berikut:

- a. Tegangan pengoperasian: 3,3~5,5 VDC;
- b. Tegangan keluaran: 0~3,0 VDC;
- c. Operasi Listrik: 5mA;
- d. Antarmuka: PH2.54-3P;
- e. Ukuran: 3,86 × 0,905 inchi (P×L);
- f. Berat: 15 gram (Datasheet, Capacitive Soil Moisture Sensor).

Sensor ini berfungsi sebagai parameter untuk otomatisasi penyiram tanaman. Sensor kelembaban tanah menghitung rata-rata permitivitas dielektrik di sepanjang sensor. Di sini, permitivitas dielektrik adalah fungsi dari air. Kisaran suhu untuk kerja sensor ini adalah 10-30°C dan tegangan yang diterapkan adalah 5V (Ratnakumari dan Koteswari, 2020). Contoh bentuk fisik dari sensor kelembaban ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.

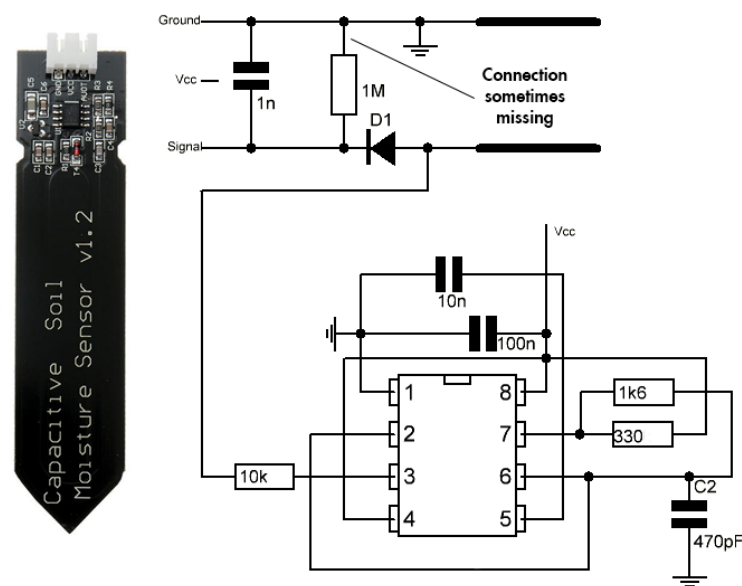


Gambar 2.3 Capacitive Soil Moisture Sensor (Datasheet, Capacitive Soil Moisture Sensor)

Adapun rangkaian ini dapat bekerja dengan tegangan masukan sebesar 3,3-5,5 Volt DC dengan jangkauan keluaran tegangan analog sebesar 0-3 Volt DC. Pada

penelitian ini output yang dihasilkannya tersebut dibaca oleh modul ESP32 pada port analognya (Pamungkas, 2019).

Sensor kapasitif bekerja dengan mengukur perubahan kapasitansi antara dua pelat konduktor yang bertindak sebagai elektroda. Semakin tinggi kelembapan tanah, semakin tinggi pula kapasitansinya. Sensor resistif bekerja dengan mengukur resistensi listrik antara dua elektroda. Semakin tinggi kelembapan tanah, semakin rendah pula resistensinya. Sensor kapasitif umumnya terdiri dari dua pelat konduktor, kapasitor, dan beberapa komponen elektronik lainnya, sedangkan Sensor resistif umumnya terdiri dari dua elektroda, resistor, dan beberapa komponen elektronik lainnya. Rangkaian elektronik dari *capacitive soil moisture* sensor ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.



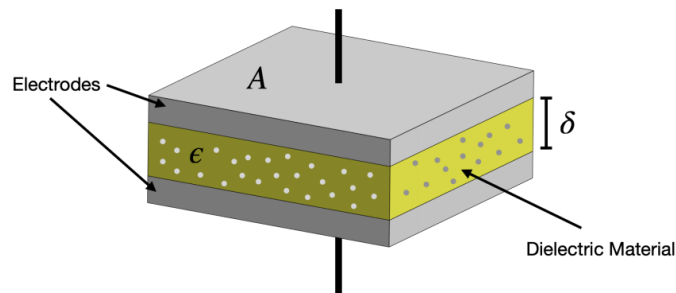
Gambar 2.4 Skematik Rangkaian *Capacitive Soil Moisture* Sensor (Pamungkas., 2019)

Kapasitansi sensor kapasitif kelembapan tanah dapat dihitung menggunakan rumus dasar untuk kapasitor pada **Persamaan 2.3**.

$$C = \frac{Q}{V} \quad (2.3)$$

dimana C adalah kapasitansi (Farad), Q adalah muatan yang disimpan dan V adalah tegangan yang diterapkan (volt). Dari **Persamaan 2.3**, maka hubungan antara

tegangan yang dihasilkan dan tingkat kelembaban tanah berbanding terbalik. Semakin tinggi nilai kapasitif sensor, semakin kecil nilai tegangan yang dihasilkan dan sebaliknya (Hrisko, 2020).



Gambar 2.5 Kapasitor Plat Paralel Untuk Menghitung Kapasitansi Pada Material

Prinsip kerja sensor kelembaban tanah terlihat pada **Gambar 2.5**. Ini terdiri dari dua elektroda logam diantaranya disisipkan bahan dielektrik. Plat sejajar ini adalah contoh kapasitor sederhana. Nilai kapasitansi kapasitor adalah kemampuan untuk menyimpan muatan dan energi listrik. Salah satu cara untuk mengubah nilai kapasitansi adalah dengan menambahkan bahan dielektrik, yang dalam hal ini adalah tanah di antara plat sejajar. Kapasitansi sensor *capacitive soil moisture* dihitung dengan rumus kapasitansi kapasitor pelat sejajar pada **Persamaan 2.4**.

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (2.4)$$

di mana C adalah kapasitansi (Farad), A adalah luas penampang elektroda (m^2), ϵ_0 adalah permitivitas vakum $8,854 \times 10^{-12} F/m$, dan d adalah jarak antara elektroda sensor (m). Kapasitansi adalah rasio antara muatan yang disimpan di kapasitor dan tegangan yang diterapkan pada kapasitor tersebut. Semakin besar kapasitansi, semakin banyak muatan yang dapat disimpan untuk tegangan tertentu. Dari nilai kapasitansi dan area permukaan sensor, konstanta dielektrik dari tanah (ϵ_r) di sekitar sensor dapat dihitung dengan **Persamaan 2.5**.

$$\epsilon_r = \frac{C \cdot d}{\epsilon_0 \cdot A} \quad (2.5)$$

Konstanta dielektrik relatif tanah (ϵ_r) berhubungan dengan kelembaban tanah. Semakin lembab tanah, ϵ_r akan semakin tinggi (Ida, 2020).

Hubungan antara C dan ε dijelaskan melalui satuan kapasitansi dan permitivitas dielektrik pada **Persamaan (2.6), (2.7), (2.8), dan (2.9)** berikut.

$$\text{Farad} = \frac{\text{coulomb}}{\text{volt}} \quad (2.6)$$

dan,

$$\varepsilon = \frac{\text{Farad}}{\text{meter}} \quad (2.7)$$

Persamaan 2.6 disubstitusikan pada **Persamaan 2.7**, maka diperoleh **Persamaan 2.8**.

$$\varepsilon = \frac{\frac{\text{coulomb}}{\text{volt}}}{\text{meter}} \quad (2.8)$$

Maka diperoleh,

$$\varepsilon = \frac{\text{coulomb}}{\text{volt}} \times \frac{1}{\text{meter}} \quad (2.9)$$

Permitivitas dielektrik (ε) mempengaruhi bagaimana muatan terdistribusi dalam suatu bahan dan bagaimana bahan tersebut mempengaruhi medan listrik. Hubungan ini juga mempengaruhi bagaimana muatan (Q) terdistribusi pada kapasitor. Saat tegangan (V) diterapkan di antara dua pelat, muatan (Q) terakumulasi pada pelat. Dengan tegangan yang tetap dalam satuan volt, besar muatan (Q) dalam satuan coulomb yang tersimpan pada pelat akan meningkat ketika kelembaban tanah meningkat. Jika permitivitas dielektrik bahan di antara pelat meningkat karena peningkatan kadar air dalam tanah pada sensor kelembaban tanah, kapasitansi (C) meningkat.

Persamaan 2.3 disubstitusikan pada **Persamaan 2.4** sebagai hubungan antara tegangan dan kapasitansi dirumuskan pada **Persamaan 2.10**.

$$\frac{Q}{V} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \frac{A}{d} \quad (2.10)$$

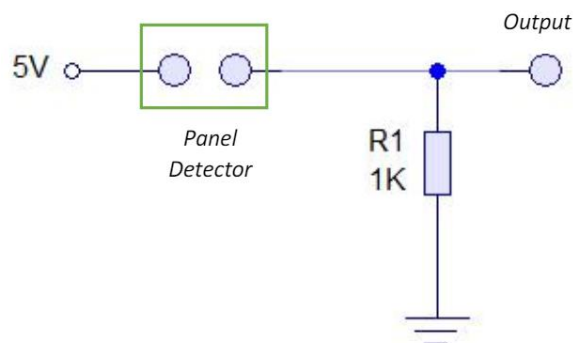
Ini berarti bahwa sensor capacitive soil moisture merupakan sensor aktif karena membutuhkan sumber daya eksternal untuk operasionalnya. Sensor ini memerlukan tegangan tambahan dari sumber daya eksternal untuk beroperasi.

Sensor kapasitif kelembaban tanah terdiri dari dua elektroda logam yang tertanam langsung dalam material dielektrik. Material dielektrik yang dimaksud adalah tanah itu sendiri. Tanah berfungsi sebagai dielektrik dari sebuah kapasitor yang terbentuk oleh kedua elektroda tersebut. Kandungan air di dalam tanah berpengaruh terhadap konstanta dielektrik tanah. Semakin banyak kandungan air, semakin tinggi nilai konstanta dielektrik tanah. Perubahan konstanta dielektrik tanah akibat perubahan kandungan air akan mengakibatkan perubahan pada nilai kapasitansi kapasitor yang terbentuk oleh kedua elektroda dengan tanah sebagai dielektriknya. Sensor ini mengukur perubahan nilai kapasitansi tersebut yang kemudian dikonversi menjadi nilai kelembaban tanah. Jika kandungan air dalam tanah meningkat, nilai kapasitansi yang terukur oleh sensor juga akan meningkat. Sebaliknya, jika tanah semakin kering, nilai kapasitansinya akan semakin rendah. Dengan demikian, prinsip utama dari sensor kapasitif kelembaban tanah adalah memanfaatkan perubahan konstanta dielektrik tanah yang disebabkan oleh perubahan kandungan air (Hrisko, 2020). Hal ini mengakibatkan perubahan nilai kapasitansi pada kapasitor yang dibentuk oleh elektroda-elektroda dengan tanah sebagai dielektriknya. Perubahan nilai kapasitansi inilah yang dideteksi dan dikonversi menjadi nilai kelembaban tanah (Serway dan Jewett, 2018).

2.2.6 Rain Drop Sensor

Sensor hujan adalah salah satu jenis perangkat saklar yang digunakan untuk mendeteksi curah hujan. Sensor ini mampu berfungsi sebagai *switch* saat terjadi tetesan air hujan yang jatuh melalui *raining board* yang terdapat pada sensor, selain itu sensor mampu mengukur intensitas curah hujan. Prinsip kerja sensor ini adalah ketika hujan turun, saklar akan dalam keadaan tertutup secara normal (Reddy et al., 2023). Tetesan air hujan jatuh pada garis nikel, tetesan tersebut menghubungkan garis-garis ini secara paralel yang mengurangi resistensi dan karenanya penurunan tegangan pada garis juga berkurang. Hal ini terjadi karena air adalah konduktor

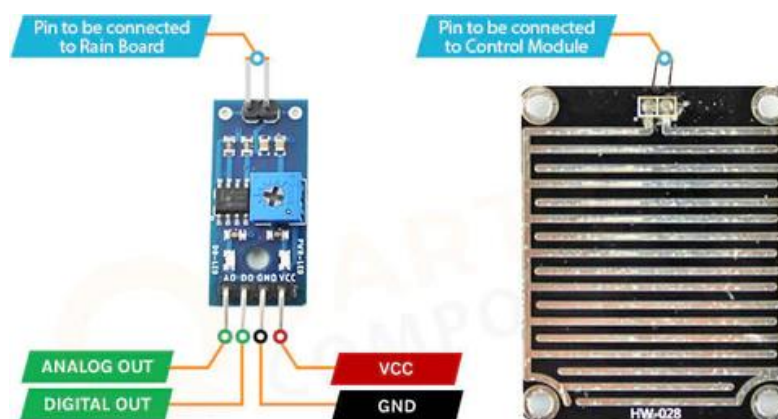
listrik yang baik. Keluaran analog dari sensor raindrop berfungsi sebagai pendeteksi hujan dengan kondisi nilai keluaran sensor tinggi mengindikasikan saat tidak mendeteksi hujan, sedangkan pada saat sensor mendeteksi hujan nilai keluaran sensor bernilai rendah (Ardiyanto dan Mustar, 2020). Kisaran resistensi adalah dari 100K Ohm hingga 2M Ohm (Ratnakumari dan Koteswari, 2020). Semakin rendah resistensi (semakin banyak air) semakin rendah tegangan output. Sebaliknya, semakin sedikit air semakin besar tegangan output pada pin analog. Apabila papan benar-benar kering maka akan menyebabkan modul keluarannya sebesar 5 volt (Hilmi dan Khotib, 2022). Rangkaian sensor hujan ditunjukkan pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Rangkaian Sensor Hujan (Datasheet, Raindrop Sensor)

Gambar 2.6, menunjukkan rangkaian sensor hujan yang dapat menghantarkan tegangan 5V. Panel detector terdiri dari jalur-jalur nikel yang berfungsi sebagai sensor hujan. Jalur-jalur nikel ini dilapisi pada papan isolator dan terhubung ke rangkaian elektronik sensor. Jadi, apabila panel detector terkena hujan maka jalur akan terhubung yang memungkinkan arus mengalir melalui rangkaian. Diagram sirkuit juga menyertakan resistor pull-up ($1K\Omega$) yang terhubung ke pin output. Resistor ini membantu memastikan bahwa pin output berada pada tegangan tinggi saat tidak ada hujan. Sensor hujan (*raindrop sensor*) dapat digunakan untuk mendeteksi apakah terjadi hujan atau tidak. Sensor hujan bekerja berdasarkan perubahan nilai hambatan pada papan sensor ketika mendeteksi air, hal ini menyebabkan adanya arus yang mengalir sehingga menandakan turun hujan. Semakin banyak air yang mengenai sensor maka semakin cepat perubahan resistansinya (Kedia, 2016).

Sensor hujan harus terlebih dahulu dihubungkan ke papan ESP32 agar dapat digunakan dalam sistem irigasi berbasis IoT. Pengguna harus menggunakan Arduino IDE untuk memprogram ESP32 agar dapat membaca data dari sensor tersebut. Informasi disimpan dalam basis data yang dapat diakses oleh pengguna (Nikitha *et al.*, 2023). Jika menggunakan pin analog sistem harus menggunakan ambang batas curah hujan yang ditentukan pengguna dalam program untuk memutuskan kapan harus menyalakan sistem irigasi, sedangkan jika menggunakan pin digital menggunakan logika *high* dan *low*. Sensor hujan adalah bagian penting dari sistem irigasi IoT berbasis ESP32 (Tumpa *et al.*, 2023). Sensor hujan dapat dimanfaatkan untuk memberikan indikasi atau masukan kepada sistem, sehingga pengguna dapat mengambil keputusan untuk melakukan penyemprotan pestisida/fungisida dalam upaya membunuh hama tanaman yang muncul setelah terjadinya hujan. Bentuk fisik Raindrop Sensor ditunjukkan pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7 Raindrop Sensor (Tumpa, 2023)

Komponen utamanya terdiri dari panel atau lempengan yang terbuat dari bahan penghantar listrik seperti nikel atau tembaga. Pada kondisi permukaan panel kering atau tidak terdapat tetesan air, aliran arus listrik akan terhalang karena panel memiliki resistansi yang besar. Akan tetapi, ketika tetesan air menyentuh permukaan panel, keadaan berubah. Air yang bersifat konduktif membentuk jalur penghantar pada permukaan panel yang menyebabkan arus listrik mengalir dengan lebih mudah dan mengurangi hambatan secara signifikan (Sumaedi, 2023). Perubahan hambatan ini ditangkap oleh rangkaian elektronik sensor dan

diterjemahkan sebagai perubahan tegangan keluaran sesuai dengan prinsip hukum Ohm pada **Persamaan 2.11**.

$$V = IR \quad (2.11)$$

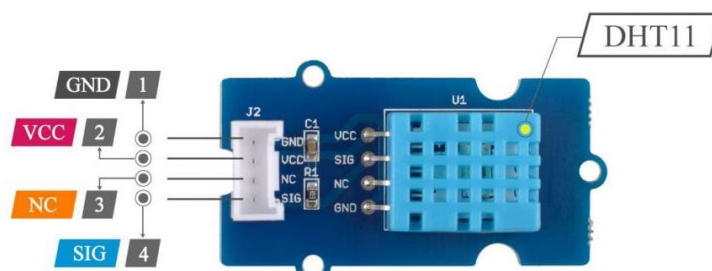
Dimana, V adalah tegangan (Volt), I adalah arus (Ampere) dan R adalah hambatan atau resistansi (Ω). Air menghubungkan jalur-jalur nikel ini secara paralel, mengurangi resistansi secara keseluruhan dan menyebabkan penurunan tegangan yang terukur. Perubahan tegangan ini kemudian diinterpretasikan oleh sistem elektronik atau mikrokontroler untuk mendeteksi adanya hujan. Dengan demikian, sensor hujan mampu mendeteksi tetesan air berdasarkan perubahan resistansi dan tegangan yang dihasilkan, membuatnya menjadi alat yang berguna dalam berbagai aplikasi seperti sistem irigasi otomatis, pemantauan kondisi cuaca dan lainnya (Suryana, 2021). Sensor hujan merupakan sensor aktif karena membutuhkan sumber daya eksternal untuk operasionalnya. Sensor ini memerlukan tegangan tambahan dari sumber daya eksternal untuk beroperasi.

2.2.7 Sensor Suhu dan Kelembaban (DHT11)

DHT11 Adalah alat sensor digital yang mengukur suhu dan kelembaban udara di sekitarnya. sensor ini sangat gampang digabungkan bersama dengan NodeMCU ESP32. Alat ini memiliki tingkatan stabilitas yang baik, serta fitur kalibrasi yang akurat. Konvensional dalam kalibrasi disimpan oleh OTP program memori. Ketika internal sensor ini mendeteksi sesuatu maka module ini menyertakan efisien dalam kalkulasinya (Gunawan dan Fatimah, 2020). Dalam sistem irigasi, sensor suhu dan kelembaban digunakan untuk memantau tingkat kelembaban, suhu, dan kelembaban tanah. Dengan informasi ini, kita dapat menentukan kapan dan seberapa banyak air yang harus digunakan untuk menyiram tanaman. Ini dapat meningkatkan hasil panen dan membantu dalam konservasi air (Firmansyah *et al.*, 2021). Hal ini juga membantu untuk menghindari penyiraman yang berlebihan atau kekurangan air, yang dapat membahayakan tanaman dan tanaman. Untuk memantau suhu dan kelembaban lingkungan, saya menggunakan sensor suhu dan kelembaban DHT11. Dengan demikian, peneliti dapat menggunakan kondisi

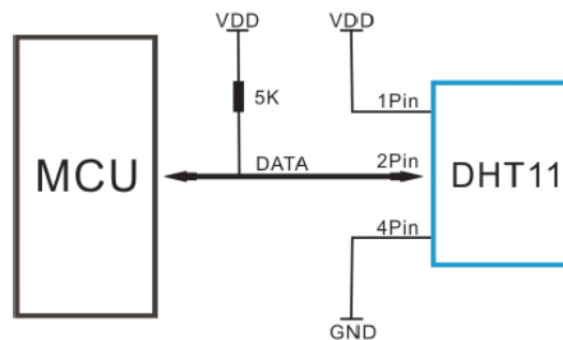
lingkungan untuk menentukan kapan harus menyiram dan kapan tidak harus menyiram tanaman. Sensor suhu dan kelembaban yang populer untuk proyek dan pendidikan adalah DHT11. Harganya tidak mahal dengan antarmuka serial kabel tunggal, menghubungkan ke mikrokontroler itu sederhana. DHT11 memiliki waktu respons yang cepat dan akurasi pembacaan $\pm 2^{\circ}\text{C}$ untuk suhu dan $\pm 5\%$ untuk kelembaban sensor ini beroperasi pada rentang tegangan 3,3V hingga 5V dan bersifat digital. Selain itu, sensor ini menggunakan arus yang kecil yaitu pengukuran $0,3\text{mA}$ dan mode siaga $60\mu\text{A}$ yang membuatnya sempurna untuk aplikasi bertenaga baterai (Tumpa *et al.*, 2023.).

Sensor kelembaban dan suhu (DHT11) terdiri dari termistor, komponen penginderaan kelembaban, dan IC. Termistor menghitung suhu media di sekitarnya dari kemampuannya memvariasikan resistansinya karena suhu. Media penahan kelembaban ditempatkan di antara dua elektroda dalam komponen penginderaan kelembaban. Variasi dalam kelembaban menghasilkan variasi dalam resistansi antara elektroda. Variasi resistansi diukur dan diproses oleh IC yang memberikan nilai kelembaban ke NodeMCU. Kisaran suhu adalah $0\text{-}50^{\circ}\text{C}$ dan kisaran kelembaban adalah 20 - 90% RH (Ratnakumari dan Koteswari, 2020). Bentuk fisik sensor DHT11 ditunjukkan pada **Gambar 2.8**.



Gambar 2.8 DHT11 (Hilmi dan Khotib, 2022)

Gambar skematik untuk menghubungkan DHT11 dan MCU ditunjukkan pada **Gambar 2.9**.



Gambar 2.9 Skema elektronik Menghubungkan DHT11 dan MCU (Datasheet, DHT11)

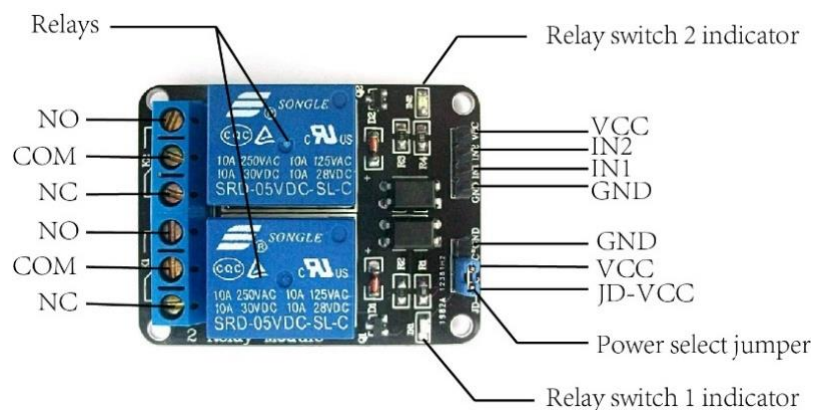
Sensor DHT11 menggunakan prinsip konduktivitas untuk mengukur kelembaban udara. Di dalam sensor terdapat elemen penginderaan kelembaban (hygroscopic material) yang mengubah resistansinya sesuai dengan kadar air di udara. Perubahan resistansi ini diukur oleh chip sensor internal dan dikonversi menjadi nilai kelembaban udara relatif (%) (Aosong Electronics Co, 2010). Sensor DHT11 menggunakan termistor atau resistor NTC (*Negative Temperature Coefficient*) untuk melakukan pengukuran suhu. Termistor NTC adalah jenis resistor yang nilai resistansinya berubah seiring dengan perubahan suhu. Ketika suhu meningkat, resistansi termistor NTC akan menurun dan sebaliknya, ketika suhu menurun maka resistansinya akan meningkat. Sensor DHT11 mendeteksi perubahan resistansi ini dan mengkonversinya menjadi nilai suhu yang dapat dibaca oleh sistem. Dengan demikian, nilai resistansi yang diukur oleh sensor ini memberikan informasi tentang suhu lingkungan di sekitarnya, memungkinkan penggunaan sensor DHT11 untuk mengukur suhu dengan akurat (Hidayatullah *et al.*, 2022). Sensor DHT11 merupakan sensor aktif karena membutuhkan sumber daya eksternal untuk operasionalnya. Sensor ini memerlukan tegangan tambahan dari sumber daya eksternal untuk beroperasi. Spesifikasi sensor DHT11 adalah sebagai berikut:

1. Kelembaban Udara
 - Resolusi Pengukuran: 16 bit
 - Kemampuan berulang: $\pm 1\%$ RH
 - Akurasi pengukuran dengan kelembaban relatif: $25^{\circ}\text{C} \pm 5\%$
2. Suhu
 - Resolusi Pengukuran: 16 bit

- Kemampuan berulang: $\pm 0,2^{\circ} C$
- Kisaran: pada suhu $25^{\circ} C \pm 2^{\circ} C$

2.2.8 Relay Module

Elemen penting dari sistem penyiraman tanaman berbasis IoT yang didukung oleh ESP32 adalah modul relay. Relay adalah saklar bertenaga listrik yang dapat mengatur pasokan air ke tanaman ketika diaktifkan oleh ESP32. Pompa air dan katup solenoid yang mengatur aliran air ke tanaman sering dihidupkan dan dimatikan menggunakan saklar tersebut. Modul relay dapat digunakan untuk mengontrol sistem penyiraman otomatis dari lokasi mana pun dengan koneksi internet karena dibuat untuk dipicu dari jarak jauh. Modul relay adalah bagian listrik yang digunakan untuk mengendalikan pompa air. Saklar relay, saklar bertenaga elektromagnetik yang digunakan untuk mengatur aliran listrik, dan satu set terminal, digunakan untuk menghubungkan saklar relay ke pompa air. Daya pompa air dihidupkan dan dimatikan menggunakan modul relay memungkinkan kontrol yang tepat terhadap laju aliran dan kecepatan pompa air. Selain itu, modul ini digunakan untuk menurunkan jumlah daya yang dibutuhkan oleh pompa air dan melindunginya dari lonjakan daya dan arus berlebih. Ini dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk sistem air pertanian, komersial, dan perumahan (Telaumbanua, 2021). Bentuk fisik modul relay ditunjukkan pada **Gambar 2.10**.



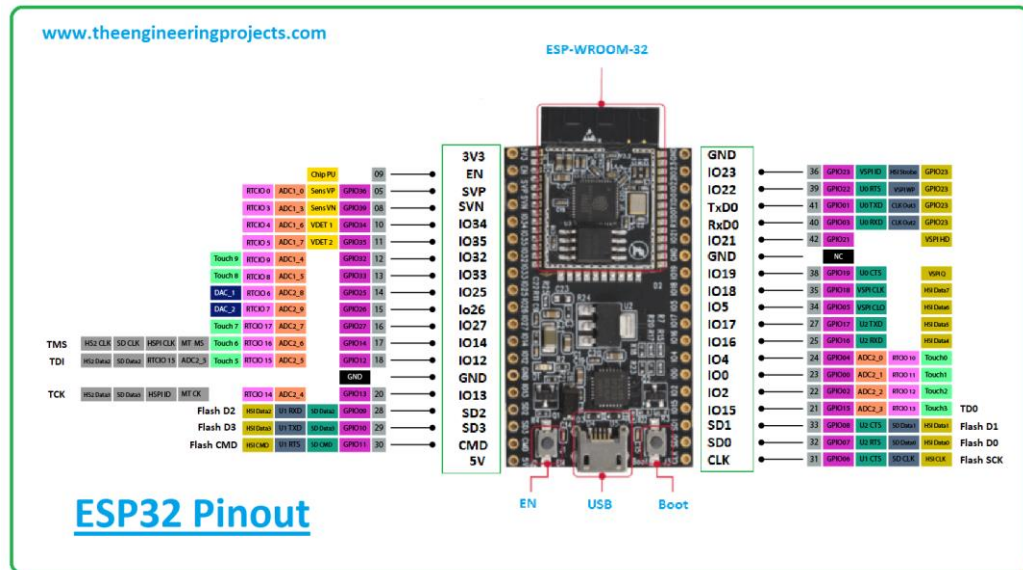
Gambar 2.10 Relay Module (Sadikin *et al.*, 2019)

2.2.9 NodeMCU ESP32

NodeMCU merupakan perangkat IoT yang bersifat *open source*. Perangkat kerasnya menggunakan sistem ESP32 on-chip CP2102. Juga dilengkapi dengan antena, *power amplifier*, *low noise amplifier* dan manajemen daya, ia juga menawarkan kecepatan 4 MB yang sangat cepat dan hemat energi. Sistem ini juga merupakan *firmware* yang dibuat menggunakan bahasa pemrograman skrip Lua. Arti Node MCU secara umum mengacu pada perangkat lunak yang digunakan oleh perangkat keras development kit (Fauzia *et al.*, 2021).

NodeMCU ESP32 adalah board development kecil dengan mikrokontroler yang mendukung IoT merupakan penerus ESP8266 yang terkenal espressif. ESP32 adalah *System on Chip (SoC)* berkemampuan WiFi dan Bluetooth yang sangat kuat dengan jumlah *General Purpose Input/Output (GPIO)* yang sangat banyak dan *board development* yang menunjukkan kekuatan dalam desain modul IoT yang sangat mudah diakses. ESP32 adalah satu chip combo WiFi dan Bluetooth 2,4 GHz yang dirancang dengan daya ultra rendah TSMC 40 nm. Teknologi ini dirancang untuk mencapai kinerja daya terbaik, menunjukkan ketahanan, keserbagunaan, dan keandalan dalam berbagai aplikasi (Budijanto *et al.*, 2021).

Keunggulan dari mikrokontroler ESP32 jika dibandingkan dengan ESP8266 antara lain, ESP32 menggunakan NodeMCU Xtensa Dual Core 32-bit LX6 dengan 600 *Dhrystone Million Instructions Per Second (DMIPS)* sedangkan untuk ESP8266 masih menggunakan NodeMCU Xtensa Single-core dengan 32-bit L106. Jika dilihat dari sisi Bluetooth dan Wi-Fi bahwa ESP32 telah terintegrasi secara *System on Chip*, sedangkan ESP8266 masih terpisah yang artinya bahwa dari sisi alat yang dibutuhkan ESP32 lebih unggul jika dibandingkan ESP8266 di mana ESP8266 membutuhkan beberapa perangkat lain untuk tujuan penelitian yang sama. ESP32 mempunyai pin GPIO paling banyak yakni 32 pin GPIO dibandingkan dengan ESP8266 yang hanya memiliki pin GPIO sebanyak 17 pin ((Widyatmika *et al.*, 2021). Pinout NodeMCU ESP32 ditunjukkan pada **Gambar 2.11**.



Gambar 2.11 Pinout ESP32 (Theengineeringprojects, 2020)

Spesifikasi ESP32 Devkit v1 memiliki jumlah pin sebanyak 32 pin GPIO terdiri dari 18 pin ADC, 3 *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter* (UART) Interface, 2 Serial Peripheral Interface (SPI), 2 inter-integrated circuit (I2C) Interface, 16 pin *Pulse Width Modulation* (PWM), 2 pin *Digital Analog Converter* (DAC) (Budijanto *et al.*, 2021).

Spesifikasi NodeMCU ESP32 dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Spesifikasi ESP32 Board

Keterangan	Spesifikasi ESP32
CPU	Tensilica Xtensa LX6 32bit Dual-Core di 160/240MHz
SRAM	520 KB
FLASH	4 MB
Tegangan	2.2 – 3.6 VDC
Arus kerja	Rata-rata 80mA
Program	Ya (C,C++,Python,Lua)
Open Source	Ya
GPIO	32 pin
SPI	2
I2C	2
PWM	16 channels
ADC	18(12-bit)
DAC	2(8-bit)
Wifi	802.11 b/g/n
Bluetooth	4.2 BR/EDR+BLE
UART	3

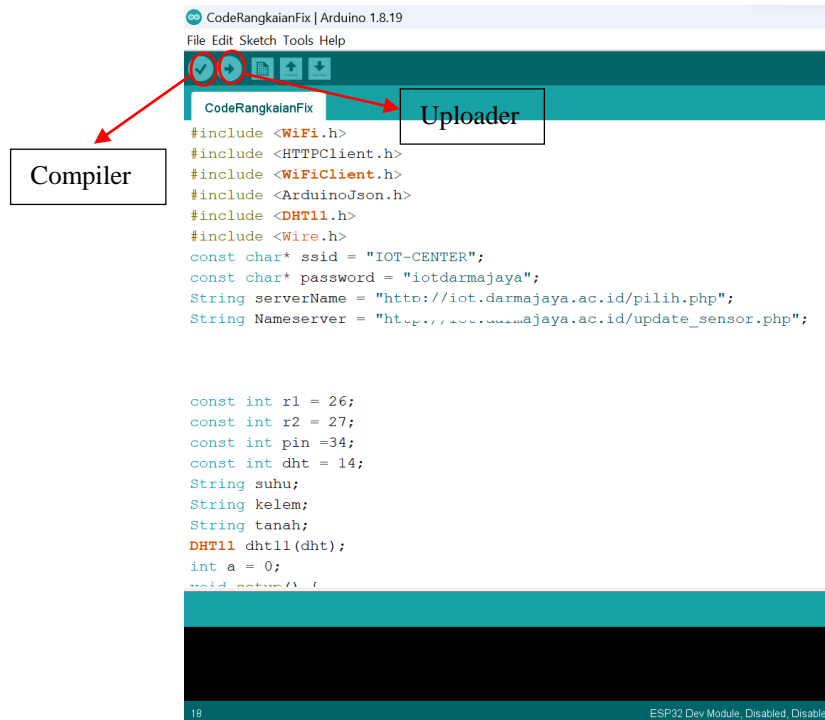
Sumber: (Datasheet, ESP32)

2.2.10 Software Arduino IDE

Software IDE Arduino merupakan suatu software yang dapat digunakan untuk membuat program untuk memberi perintah kepada Arduino (Hafidhin *et al.*, 2020). Software IDE Arduino yang berasal dari *platform Wiring* adalah pengendali mikro single-board yang bersifat *open source* yang dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Hardware menggunakan prosesor Atmel AVR, dan software menggunakan bahasa pemrograman C++ yang sederhana dengan fungsi-fungsi yang lengkap, sehingga arduino mudah dipelajari oleh pengguna. IDE Arduino software program yang sangat canggih yang ditulis dengan Java (Inggi dan Pangala, 2021). Tersedia banyak library yang disediakan dalam pemrograman dengan IDE Arduino. Software IDE Arduino terdiri dari 3 (tiga) bagian yaitu Editor Program, Compiler, dan Upload Er. Berikut penjelasan mengenai bagian tersebut:

1. Editor program, bagian ini digunakan untuk menulis dan mengedit perintah. Listing program pada Arduino disebut sketch.
2. Compiler, merupakan suatu modul yang digunakan untuk mengubah bahasa *processing* (kode program) menjadi kode biner karena kode biner merupakan bahasa program yang dipahami oleh microcontroller.
3. Uploader, bagian ketiga dari IDE Software adalah sebuah modul yang digunakan untuk memasukkan kode biner ke dalam memori microcontroller (Govinda *et al.*, 2022).

Pada IDE Arduino, perangkat lunak yang ditulis disebut dengan sketch. Sketch ditulis pada editor teks kemudian disimpan dengan ekstensi file.ino. Secara garis besar struktur perintah pada Arduino terbagi menjadi dua bagian yaitu void setup dan void loop (Mardianto, 2022). Software Arduino IDE ditunjukkan pada **Gambar 2.12**.



Gambar 2.12 Software Arduino IDE (Arduino, 2023)

2.2.11 Tanaman Bawang Merah

Bawang merah (*Allium ascalonicum L.*) adalah sayuran umbi yang memiliki banyak manfaat. Ini dapat digunakan sebagai bumbu untuk makanan, sayuran, atau sebagai obat tradisional karena senyawa anilin dan alisin di dalamnya memiliki efek antiseptik (Bagaskara *et al.*, 2023). Bawang merah banyak ditanam di daerah dataran rendah (10-250 meter di atas permukaan laut) di mana cuaca cerah, suhu agak panas, dan iklim kering. Akan tetapi, meskipun hasilnya kurang baik tanaman bawang merah masih dapat ditanam di dataran tinggi. Ini karena tanaman bawang merah di dataran tinggi menghasilkan umbi yang kecil dan umur panennya yang panjang 80 hingga 90 hari (Rustan dan Mansur, 2020). Panen bawang merah dilakukan pada umur 60-70 hari setelah tanam (HST). Ini dilakukan dengan mencabut tanaman secara menyeluruh dengan tangan, kemudian membersihkan tanah dan akar. Kriteria panen daun termasuk 60-70% leher daun lemas, daun menguning, umbi padat yang muncul sebagian di atas tanah, dan warna kulit mengkilap (Pandia *et al.*, 2022).

Bawang merah dapat tumbuh dalam berbagai lingkungan. Pastinya membutuhkan kondisi lingkungan yang baik dan jumlah air yang memadai untuk mendapatkan hasil bawang merah terbaik. Pengairan yang berlebihan dapat menyebabkan kelembaban tanah menjadi tinggi yang menghambat pertumbuhan umbi bawang dan menyebabkan bawang merah menjadi busuk (Putra dan Rahayu, 2021). Kekeringan pada saat pertumbuhan vegetatif dapat menghambat pertumbuhan tanaman, sedangkan kekeringan pada saat pembentukan umbi dapat menyebabkan gagal panen (Abidin, 2021). Bentuk fisik tanaman bawang ditunjukkan pada **Gambar 2.13**.

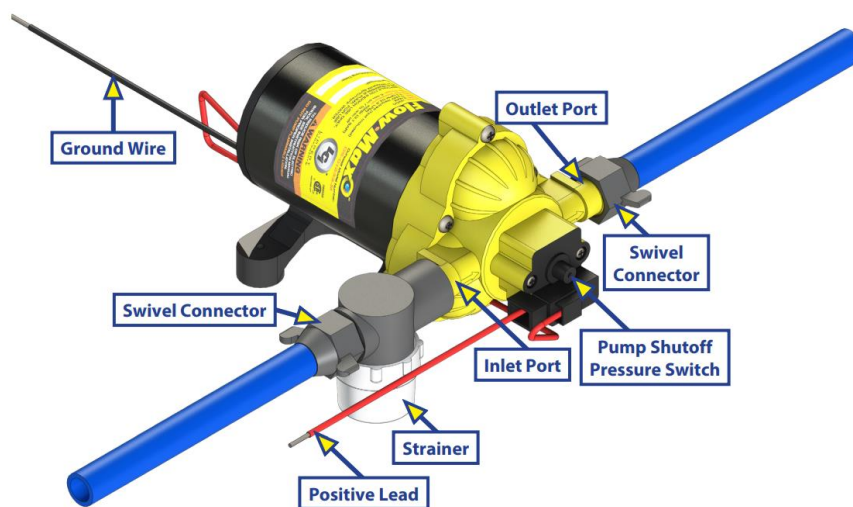


Gambar 2.13 Bawang Merah (Sumber: Koleksi Pribadi Peneliti)

2.2.12 Pompa Air

Water Pump atau pompa air merupakan alat untuk menggerakkan air dari tempat bertekanan rendah ke tempat bertekanan yang lebih tinggi. Pada dasarnya *water pump* sama dengan motor DC pada umumnya, tetapi sudah dikemas sedemikian rupa sehingga dapat digunakan didalam air (Sembiring *et al.*, 2024). Pompa berfungsi untuk mengalirkan fluida dari satu tempat ke tempat lain bekerja dengan cara menciptakan perbedaan tekanan antara sisi inlet (masukan) dan sisi outlet (keluaran). Pada sisi inlet, tekanan diturunkan sehingga cairan (*fluida*) tertarik untuk mengalir masuk. Sedangkan pada sisi outlet, tekanan dinaikkan untuk mendorong fluida keluar dari alat tersebut. Pompa menggunakan tenaga kinetis atau kecepatan untuk mengalirkan cairan dan mengatasi hambatan sepanjang

pengalirannya (Lesmana *et al.*, 2022). Pompa air tidak hanya dapat memindahkan cairan tetapi juga dapat meningkatkan kecepatan, tekanan, dan ketinggian cairan (Marbun dan Sinaga, 2021). Untuk menyiram tanaman, pompa air menggunakan batuan pipa untuk mengalirkan air ke tanaman. Terdapat 2 komponen utama pada, yaitu motor yang berfungsi sebagai penggerak pompa dan pompa berfungsi sebagai perangkat yang mengangkat atau memindahkan air (Riska, 2021). Bentuk fisik pompa air ditunjukkan pada **Gambar 2.14**.



Gambar 2.14 Pompa Air (Dedy *et al.*, 2018)

Pada sistem otomatisasi penyiraman digunakan pompa air DC dengan tegangan 12V untuk mengalirkan air. Pompa ini memiliki spesifikasi arus 3,5A dan mampu mengalirkan air dengan laju 4 liter per menit (LPM). Tekanan yang dihasilkan oleh pompa adalah 80 psi yang kira-kira setara dengan 0,6 MPa. Pompa dilengkapi dengan *switch auto on/off*, saat aliran output air ditutup maka pompa akan otomatis mati dan sebaliknya bila dibuka akan otomatis menyala.

2.2.13 Power Supply

Power supply atau catu daya merupakan perangkat elektronik vital yang mengubah energi listrik dari sumber AC (*Alternating Current*) menjadi DC (*Direct Current*) dengan tegangan yang sesuai untuk kebutuhan perangkat elektronik. Power supply mengubah tegangan AC dari sumber menjadi tegangan DC yang lebih rendah.

Power supply memastikan bahwa tegangan DC output tetap stabil meskipun arus beban berubah. Hal ini penting untuk menjaga kinerja perangkat elektronik yang terhubung. Power supply menghilangkan noise dari tegangan DC, sehingga menghasilkan tegangan DC output yang lebih bersih dan stabil (Ma *et al.*, 2022). Daya (watt) dari power supply menentukan seberapa besar arus listrik dan tegangan yang dapat disuplai ke beban atau komponen yang terhubung. *Power supply* digunakan untuk mensuplai arus listrik yang digunakan untuk menjalankan semua sistem (Pratama dan Hardani, 2021).

Jenis-jenis power supply antara lain DC power supply, AC power supply dan switch mode power supply. DC power supply merupakan catu daya yang memberikan tegangan dan arus listrik dalam bentuk DC dan memiliki polaritas yang tetap yaitu positif dan negatif. AC power supply berguna untuk mengubah sumber tegangan AC ke taraf tegangan lainnya dan switch mode power supply berguna untuk menyearahkan dan menyaring tegangan input AC untuk mendapatkan tegangan DC (Putra *et al.*, 2020). *Power supply* 12V DC merupakan perangkat keras yang bertanggung jawab menyediakan sumber daya listrik arus searah (Direct Current/DC) dengan tegangan 12 volt. Perangkat ini dibutuhkan untuk mensuplai daya ke berbagai komponen elektronik yang menggunakan tegangan 12V DC, seperti pompa air, solenoid valve, dan lainnya. Power supply 12V DC merupakan perangkat keras yang bertanggung jawab menyediakan sumber daya listrik arus searah (Direct Current/DC) dengan tegangan 12 volt. Perangkat ini dibutuhkan untuk mensuplai daya ke berbagai komponen elektronik yang menggunakan tegangan 12V DC, seperti pompa air, solenoid valve, dan lainnya. Power supply 12V DC umumnya terhubung ke sumber daya listrik bolak-balik (*Alternating Current/AC*) seperti stopkontak. Karena terhubung ke sumber AC, power supply akan melakukan proses konversi dengan mengubah arus AC menjadi arus DC 12 volt melalui komponen seperti transformator step-down dan penyearah gelombang (*rectifier*) (Sabrina, 2023). Bentuk fisik power supply ditunjukkan pada **Gambar 2.15**.



Gambar 2.15 Power Supply 12V (Putra, 2020)

2.2.14 Irigasi

Proses pengelolaan dan penyediaan air untuk keperluan pertanian dikenal sebagai irigasi. Dalam dokumen Peraturan Pemerintah No. 23/1982 Pasal 1, irigasi, bangunan dan petak irigasi yang telah dibakukan yaitu: Irigasi adalah usaha penyediaan dan penyediaan dan pengaturan air untuk menunjang pertanian. Jaringan irigasi adalah saluran dan bangunan yang merupakan satu kesatuan dan diperlukan untuk pengaturan air irigasi mulai dari penyediaan, pengambilan, pembagian pemberian dan penggunaannya. Daerah irigasi adalah area yang memperoleh air dari satu jaringan irigasi, dan petak irigasi adalah petak tanah yang memperoleh air dari jaringan irigasi (Setiadi dan Muhaemin, 2018)

Jenis-jenis irigasi termasuk irigasi permukaan, irigasi air bawah tanah, irigasi pompa, dan irigasi tambak (Sari dan Sulaeman, 2020). Namun, metode umum irigasi dapat dibagi menjadi beberapa kategori yaitu irigasi permukaan, irigasi bawah-permukaan, irigasi curah (*sprinkler*), dan irigasi tetes (*irrigation*) (Rosalinda, 2022). Metode irigasi yang akan digunakan tergantung pada faktor ketersediaan air, tipe tanah topografi lahan dan jenis tanaman. Dalam memberikan air pada tanaman, penting untuk mempertimbangkan jumlah air yang dibutuhkan tanaman. Oleh karena itu, pemberian air irigasi harus dikontrol untuk menghindari kelebihan atau kekurangan air (Sabilau *et al.*, 2021).

Sistem irigasi sprinkler merupakan metode penyiraman tanaman dengan cara menyemburkan air ke udara sehingga air jatuh ke permukaan tanah menyerupai hujan alami. Pada saat ini, terdapat berbagai model sprinkler yang tersedia di pasaran, ada yang mampu berputar dengan cakupan sudut 180 derajat hingga 360 derajat dengan jarak semburan air yang bervariasi tergantung pada model sprinkler yang digunakan (Kayangan *et al.*, 2023). Sistem ini cocok untuk tanaman hortikultura. Irigasi ini menggunakan air bertekanan yang disemprotkan melalui lubang kecil untuk menyirami tanaman. Bentuk fisik irigasi sprinkler ditunjukkan pada **Gambar 2.16**.



Gambar 2.16 Irigasi Sprinkler (Sumber: Koleksi Pribadi Peneliti)

2.2.15 Website

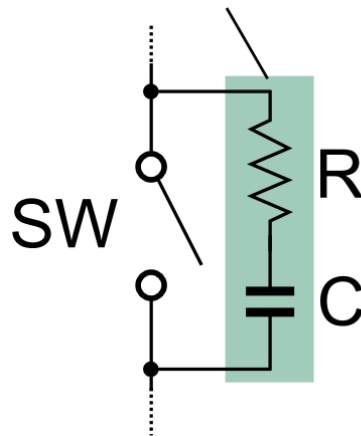
Menurut Rohi Abdulloh (2015) yang dikutip dalam jurnal Afriady *et al* (2018:49) web adalah sekumpulan halaman web yang terdiri dari berbagai halaman yang berisi informasi digital dalam bentuk teks, gambar, video, audio, dan animasi lainnya yang disediakan melalui jalur internet. Singkatnya, *website* adalah halaman web yang ditampilkan oleh browser seperti Firefox, Chrome, dan lainnya. Di sisi lain, internet adalah jaringan yang digunakan untuk mengirimkan konten pada *website*. *Website* (Situs web) adalah kumpulan halaman web yang terhubung ke dokumen terkait lainnya. Terdapat halaman pada website yang disebut *homepage* (halaman beranda). Halaman beranda merupakan halaman pertama yang dilihat

seseorang ketika mengunjungi suatu *website*. Di halaman beranda, pengunjung dapat mengklik *hyperlink* untuk menuju ke halaman lain di *website* (Saad, 2020). Sebagian besar, sebuah *website* terdiri dari banyak halaman web yang saling berhubungan. *Hypertext* adalah teks yang digunakan untuk menghubungkan halaman web. *Hyperlink* adalah hubungan antara halaman web yang berbeda (Wibowo, 2023). Menurut Abdul Kadir (2013) yang dikutip dalam jurnal Afriady *et al* (2018:49) *Hypertext Preprocessor* (PHP) adalah bahasa pemrograman yang dirancang untuk tujuan membuat web. Ini memungkinkan pembuatan aplikasi web dinamis yang berarti bahwa halaman web dikendalikan oleh data, sehingga perubahan data akan membuat halaman web berubah tanpa harus mengubah kode yang menyusun halaman web.

2.2.16 Snubber Circuit (RC Snubber Circuit)

Snubber circuit atau rangkaian peredam merupakan suatu rangkaian elektronik yang berfungsi untuk meredam lonjakan tegangan dan arus yang terjadi saat proses pensaklaran (*switching*) pada perangkat elektronik daya. Snubber circuit umumnya tersusun atas resistor dan kapasitor, serta dapat diklasifikasikan berdasarkan konfigurasinya, seperti RC snubber, RCD snubber, dan snubber dioda (Liu *et al.*, 2019). RC snubber merupakan jenis snubber circuit yang paling sederhana dan banyak digunakan. Rangkaian ini terdiri dari resistor (R) dan kapasitor (C) yang terhubung secara seri dan diletakkan di sepanjang perangkat yang hendak dilindungi. Resistor berfungsi untuk membatasi arus yang mengalir melalui kapasitor, sedangkan kapasitor berfungsi untuk menyimpan energi yang dilepaskan selama proses pensaklaran (Hampe *et al.*, 2018). RC snubber circuit memiliki beberapa manfaat penting. Pertama, rangkaian ini melindungi perangkat elektronik dari kerusakan akibat lonjakan tegangan dan arus pada saat proses pensaklaran, seperti relay (Jabbar dan Syafitri, 2022). Tanpa adanya rangkaian ini, tegangan tinggi pada saat pensaklaran dapat merusak komponen sakelar elektronik. Dengan menggunakan RC snubber umur perangkat dapat diperpanjang. Kedua, RC snubber circuit meningkatkan kinerja sirkuit dengan mengurangi gejala osilasi dan

gangguan elektromagnetik (Xu et al., 2022). Diagram rangkaian RC snubber ditunjukkan pada **Gambar 2.17**.



Gambar 2.17 Diagram Rangkaian RC Snubber

Cara Kerja Rangkaian Snubber RC

1. Selama Switching

Ketika sakelar (SW) dihidupkan, kapasitor (C) yang awalnya tidak memiliki muatan akan mengisi dengan sangat cepat. Hal ini terjadi karena kapasitor berperilaku seperti penghantar listrik dengan resistansi yang sangat kecil pada saat awal pengisian. Arus listrik yang besar akan mengalir melalui kapasitor dan resistor (R) pada saat awal pengisian. Arus ini dibatasi oleh nilai resistor (R). Proses pengisian cepat ini menyebabkan lonjakan tegangan pada sakelar (SW). Lonjakan tegangan ini terjadi karena perubahan mendadak arus dan tegangan di sirkuit.

2. Penyimpanan Energi

Seiring waktu, kapasitor (C) akan terisi penuh dan tegangan melintasinya akan meningkat. Pada saat ini, kapasitor akan menyimpan energi dalam medan listriknya. Resistor (R) membatasi aliran arus selama pengisian, mencegah pengisian berlebihan yang dapat merusak kapasitor atau sakelar. Resistor (R) juga membantu melindungi sakelar (SW) dari kerusakan akibat lonjakan tegangan dan arus yang terjadi selama pengisian.

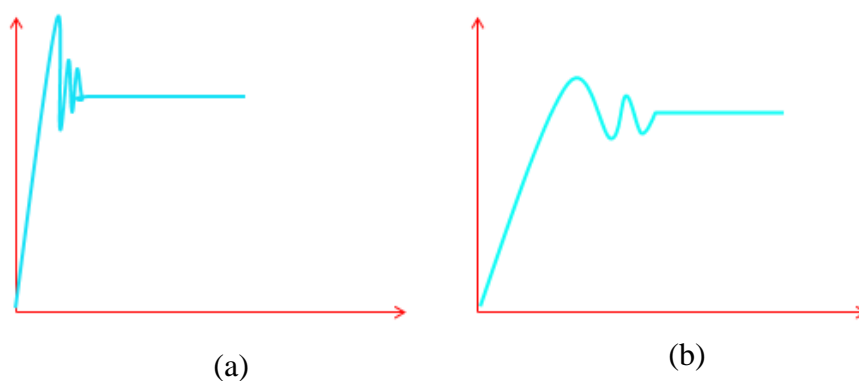
3. Disipasi Energi

Ketika sakelar (SW) dimatikan, energi yang tersimpan di kapasitor (C) akan secara bertahap dilepaskan melalui resistor (R). Resistor (R) mengontrol laju pelepasan energi, memastikan energi dilepaskan dengan cara yang terkendali dan aman.

4. Meredam Lonjakan

Proses pelepasan energi ini membantu meredam lonjakan tegangan dan arus yang biasanya terjadi saat sakelar dimatikan. Artinya, Rangkaian snubber RC bekerja dengan cara mengisi dan melepaskan energi dengan cara yang terkendali, sehingga membantu melindungi perangkat elektronik dari lonjakan tegangan dan arus yang berbahaya selama proses switching.

Rangkaian RC snubber dihubungkan pada setiap relay dengan tujuan untuk meredam gejala osilasi dan menekan lonjakan tegangan yang terjadi akibat induktansi dalam rangkaian ketika relay dalam kondisi hidup (ON). Melindungi komponen relay dari kerusakan yang disebabkan oleh gaya gerak listrik induktif yang dihasilkan beban induktif saat hidup maupun mati. Grafik perbandingan tanpa menggunakan RC snubber circuit dan menggunakan RC snubber circuit ditunjukkan pada **Gambar 2.18**.



Gambar 2.18 Grafik (a) Tanpa Menggunakan RC Snubber dan (b) Menggunakan *RC Snubber*

Pada **grafik (a)** gelombang sinusoidal tanpa snubber circuit menunjukkan fluktuasi tegangan yang signifikan pada saat switching. Fluktuasi tegangan merupakan perubahan naik turunnya tegangan listrik secara tidak normal dari nilai idealnya. Fluktuasi ini disebabkan oleh lonjakan tegangan dan arus yang terjadi saat perangkat elektronik daya dihidupkan dan dimatikan. Lonjakan tegangan dan arus

ini dapat merusak perangkat elektronik daya dan mengurangi kinerja sirkuit. Sedangkan, **grafik (b)** gelombang sinusoidal dengan snubber circuit pada grafik kedua menunjukkan fluktuasi tegangan yang jauh lebih kecil pada saat switching. Hal ini karena snubber circuit meredam lonjakan tegangan dan arus yang terjadi selama switching (Vom Dorp *et al.*, 2011).

Konstanta waktu (τ) adalah parameter penting dalam rangkaian snubber RC yang menentukan kecepatan pengisian dan pelepasan kapasitor. Rumus konstanta waktu untuk rangkaian snubber RC sederhana pada **Persamaan 2.12**.

$$\tau = RC \quad (2.12)$$

dimana, τ adalah Konstanta waktu (s), R adalah nilai resistor Ohm (Ω), dan C adalah nilai kapasitor (F). Rumus ini menunjukkan bahwa konstanta waktu berbanding lurus dengan nilai resistor dan kapasitor. Semakin besar nilai R dan C, semakin besar pula konstanta waktu. Konstanta waktu menentukan seberapa cepat kapasitor terisi saat sakelar dihidupkan. Nilai τ yang besar berarti pengisian yang lebih lambat, sedangkan nilai τ yang kecil berarti pengisian yang lebih cepat. Konstanta waktu juga menentukan seberapa cepat kapasitor melepaskan muatannya saat sakelar dimatikan. Nilai τ yang besar berarti pelepasan yang lebih lambat, sedangkan nilai τ yang kecil berarti pelepasan yang lebih cepat. Konstanta waktu yang tepat dapat membantu meredam lonjakan tegangan yang terjadi saat switching. Nilai τ yang lebih besar umumnya lebih efektif dalam meredam lonjakan tegangan, tetapi juga dapat memperlambat waktu respons rangkaian.

Arus puncak (I_{peak}) yang mengalir melalui resistor (R) pada saat awal pengisian kapasitor (C) dalam rangkaian snubber RC dihitung menggunakan rumus pada **Persamaan 2.13**.

$$I_{peak} = \frac{V_s}{R} \quad (2.13)$$

Dimana, I_{peak} adalah Arus puncak yang mengalir melalui resistor (A), V_s adalah tegangan sumber (V) dan R adalah nilai resistor (Ω). Arus lonjakan adalah arus awal yang mengalir deras saat kapasitor mulai terisi. Resistor (R) dalam rangkaian snubber RC berperan penting untuk membatasi arus lonjakan ini. Rumus ini

berdasarkan hukum Ohm yang menyatakan bahwa besarnya arus listrik (I) berbanding lurus dengan tegangan (V) dan berbanding terbalik dengan resistansi (R). Persamaan tersebut membantu dalam memilih nilai resistor yang tepat untuk rangkaian snubber RC.

Frekuensi *cut-off* pada pada *Rc snubber* dapat dihitung menggunakan **Persamaan 2.14.**

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.14)$$

Dimana, f_c adalah frekuensi cut-off (Hz), R adalah nilai resistor (Ω), C adalah nilai kapasitor (F) dan π adalah konstanta pi (3,14). *Frekuensi cut-off* menentukan rentang frekuensi di mana snubber paling efektif dalam meredam lonjakan tegangan dan arus. *Frekuensi cut-off* adalah konsep penting dalam rangkaian *RC snubber* yang digunakan untuk memahami dan merancang snubber yang efektif. Dengan memahami *frekuensi cut-off*, pengguna dapat memilih komponen yang tepat untuk snubber dan memastikan bahwa snubber berperforma sesuai dengan kebutuhan. Di bawah *frekuensi cut-off RC snubber* lebih efektif dalam meredam fluktuasi tegangan dan arus, sedangkan diatas *frekuensi cut-off RC snubber* kurang efektif dalam meredam fluktuasi tegangan dan arus.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2023 sampai dengan Mei 2024. Perancangan dan pembuatan dilakukan di Laboratorium *Internet of Things* (IoT) Institut Informatika dan Bisnis Darmajaya Bandar Lampung dan pengambilan data dilakukan di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada **Tabel 3.1** berikut.

Tabel 3.1 Alat-alat Penelitian

No	Nama	Fungsi
1	Laptop	Untuk membuat program menggunakan software Arduino IDE
2	<i>Smartphone</i>	Untuk mengontrol on/off pompa dan menampilkan data suhu, kelembaban udara, kelembaban tanah, dan hasil deteksi hujan
3	Kabel USB	Untuk mengupload program Arduino
4	Papan PCB	Sebagai papan rangkaian alat penelitian
4	Tempat penampung air	Sebagai wadah untuk menyimpan air
5	Peralatan kerja lainnya	Pendukung dalam pembuatan alat, seperti HTC-1, bor, gunting, dan sebagainya

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada **Tabel 3.2**.

Tabel 3.2 Bahan-bahan Penelitian

No	Nama	Fungsi
1	<i>Capacitive soil moisture sensor</i>	Untuk mendeteksi kelembaban tanah
2	Sensor DHT11	Untuk mengukur suhu dan kelembaban udara
3	<i>Raindrop Sensor</i>	Untuk mendeteksi hujan atau tidak
4	NodeMCU ESP32	Sebagai sistem kontrol input output (I/O) untuk pembacaan data sensor dan mengatur proses pengiriman dan menerima data
5	<i>Solenoid Valve 12V DC</i>	Untuk mengalirkan air ke tanaman. Output pada NodeMCU, <i>solenoid valve</i> akan dikendalikan oleh modul ESP32 berdasarkan data kelembaban tanah untuk menyiram tanaman secara otomatis saat diperlukan.
6	<i>Power supply 12V</i>	Sebagai sumber tegangan dan mengubah arus AC menjadi arus DC
7	Kabel jumper	Untuk menghubungkan modul ESP32 sumber daya lainnya.
8	<i>Step Down LM2596</i>	Untuk mengubah tegangan input yang lebih tinggi menjadi tegangan output yang lebih rendah sesuai dengan kebutuhan.
9	Relay	sebagai saklar yang akan mengaktifkan atau mematikan <i>solenoid valve</i> dan pompa untuk pestisida berdasarkan instruksi yang diterima dari mikrokontroler
11	Selang	Untuk mengalirkan air dari tempat penampung ke pompa dan ke tanaman.
12	Box	Sebagai tempat semua komponen elektronik yang melindungi dari kerusakan fisik.
13	Bibit Tanaman bawang merah	Sebagai objek penelitian untuk menguji dan memvalidasi fungsionalitas alat penyiram otomatis.
14	Irigasi Sprinkler	sebagai aktuator yang diaktifkan oleh <i>solenoid valve</i> dan pompa air
15	Snubber Circuit	Sebagai peredam untuk melindungi relay agar tidak terkena lonjakan tegangan
16	Bahan Kerja Lainnya	solder, timah, lem, dan lainnya

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3.3 Perangkat Lunak yang digunakan dalam Penelitian

No	Nama	Fungsi
1	Arduino IDE	Untuk membuat dan meng-upload program ke ESP32 serta menampilkan pembacaan hasil rancang bangun alat oleh ESP32
2	Fritzing	Untuk membuat gambar rangkaian
3	<i>Microsoft Office Word</i>	Untuk menulis laporan penelitian
4	<i>Microsoft office excel</i>	Untuk mengolah Data
5	Sketch Up	Untuk membuat Desain 3D Alat
6	Visual Studio Code	Untuk editor kode dalam proses membuat website dengan HTML, CSS, dan JavaScript
7	PHP	Untuk mengambil data dari database dan menampilkannya dalam bentuk grafik atau tampilan web yang interaktif
8	MySQL	Untuk database management system
8	Mendeley	Untuk mengelola sumber referensi sebagai acuan dalam penulisan proposal
10	Android Studio	Untuk membuat program pengendalian berbasis aplikasi
11	File Zilla	Untuk mengelola file di server hosting, seperti mengunggah, mengunduh, dan mengatur file

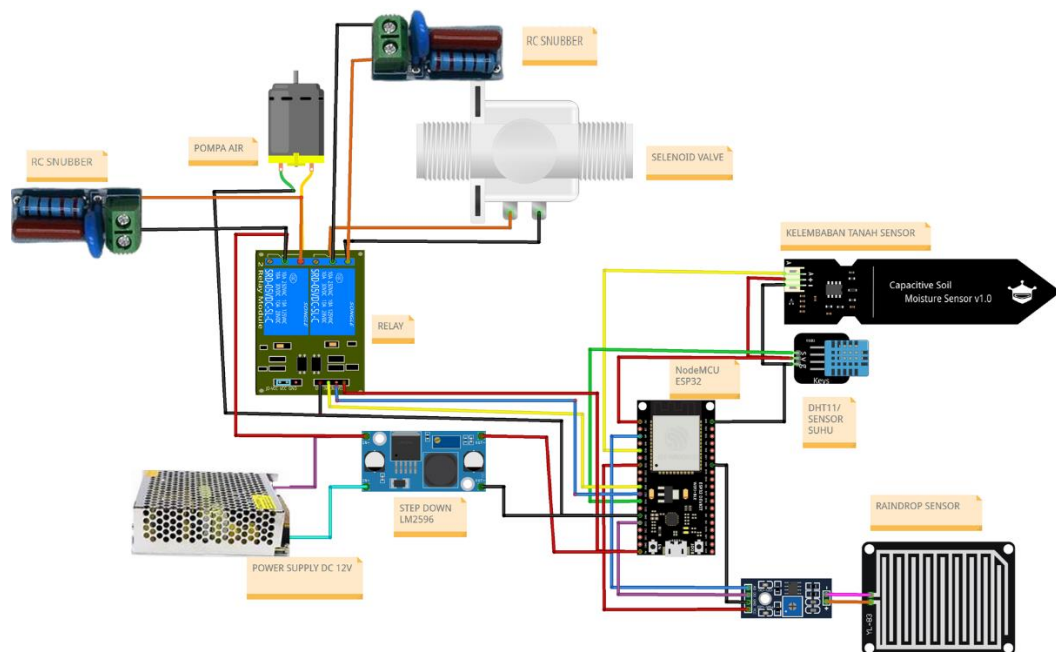
3.3 Prosedur Penelitian

Perancangan sistem ini dilakukan dalam beberapa tahap, diawali dengan persiapan. Tahap persiapan ini dilakukan untuk menentukan komponen yang dibutuhkan. Sebelum melakukan perancangan dan pembuatan alat otomasi penyiraman tanaman berbasis Internet of Things, dilakukan studi literatur terlebih dahulu. Adapun studi literatur yang dilakukan yaitu pengumpulan paper, pendalaman topik penelitian, analisa mengenai mikrokontroler, aplikasi dengan pengaturan tampilannya, serta berbagai referensi lainnya yang terkait dengan *Internet of Things* dan otomasi sistem penyiraman. Pada penelitian ini terbagi menjadi 3 bagian yaitu *hardware*, *software*, dan lahan pengujian.

Untuk bagian *hardware* dilakukan tahapan sebagai berikut.

a. Perancangan dan Pembuatan Desain Sistem

Pada tahap ini, peneliti akan merancang secara konseptual sistem penyiraman otomatis yang akan digunakan untuk tanaman bawang merah. Peneliti akan membuat desain bagaimana sistem akan beroperasi dan menghubungkan antar komponen termasuk bagaimana sensor-sensor akan diintegrasikan ke dalamnya. Ini mencakup perencanaan awal cara sistem penyiraman akan mengendalikan data sensor secara *real time*. Dalam sistem yang dikembangkan, NodeMCU ESP32 dimanfaatkan sebagai pengendali mikro untuk mengolah data. Desain sistem ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Desain Sistem Alat Penyiraman Otomatis

b. Perancangan dan Pembuatan Alat

Setelah membuat desain sistem, selanjutnya merancang dan membangun perangkat keras yang diperlukan. Pada tahap ini peneliti merakit sensor DHT11, *capacitive soil moisture sensor*, *rain drop sensor*, relay, power supply, stepdown, dan alat lainnya ke dalam satu unit perangkat keras yang dapat berkomunikasi dengan mikrokontroler atau sistem kontrol, serta memasang perangkat tambahan seperti *solenoid valve*, pompa air dan sprinkler irrigation.

c. Pembacaan dan Konversi Nilai ADC (*Analog-to-Digital Converter*)

Capacitive soil moisture sensor dan raindrop sensor menghasilkan data dalam bentuk analog yang perlu diubah menjadi digital agar dapat diproses oleh mikrokontroler. Pada tahap ini, mikrokontroler akan membaca data dari sensor dan mengkonversinya menjadi nilai digital yang dapat digunakan oleh sistem. Secara operasional, NodeMCU ESP32 memproses data sensor kelembaban tanah dan sensor hujan yang kemudian dikonversi oleh *Analog to Digital Converter (ADC)* pada NodeMCU ESP32.

d. Kalibrasi dan Pengujian Sensor

Sensor yang digunakan pada penelitian ini memerlukan kalibrasi agar memberikan hasil yang akurat. peneliti melakukan uji coba untuk memastikan bahwa sensor-sensor berfungsi dengan baik dan memberikan data yang konsisten. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan data sensor dengan kondisi sebenarnya di lapangan. Tahap pengujian pembacaan sensor bertujuan untuk mengetahui validitas pembacaan sensor atas parameter kelembaban tanah, kelembaban udara, suhu udara, dan mendeteksi hujan di lokasi tanah berbatu. Setelah tahapan ini selesai, perangkat keras akan siap untuk digunakan dalam sistem otomasi penyiraman tanaman bawang.

Untuk bagian *software* dilakukan tahapan sebagai berikut.

a. Perancangan dan Pembuatan Kode Program

Dalam tahap ini dilakukan pemrograman serta pengujian apakah sistem bekerja baik. Menuliskan kode program pada arduino IDE yang akan diunggah ke NodeMCU ESP32 untuk mengendalikan sistem penyiraman dan mengambil data dari sensor DHT11, *capacitive soil moisture sensor*, *rain drop sensor* dan alat-alat lainnya. Kemudian, merancang logika untuk membaca data dari sensor, mengatur spesifikasi penyiraman (kapan menyiram berdasarkan data kelembaban tanah), dan mengontrol perangkat keras seperti *solenoid valve*.

b. Pembuatan Program Kendali (*Website* dan *mobile app*)

Setelah peneliti mendapatkan kode program mikrokontroler, langkah berikutnya adalah membuat program kendali (*website* dan *mobile app*) yang akan digunakan untuk memantau dan mengontrol sistem melalui internet. Peneliti akan membuat tampilan *website* dan *mobile app* yang menampilkan

data dari sensor seperti status penyiraman, suhu, kelembaban, dan hasil deteksi hujan. Selain itu, peneliti akan memberi pengguna pilihan untuk memilih untuk mengaktifkan atau menonaktifkan penyiraman. Program kendali *website* menggunakan bahasa pemrograman PHP. PHP akan digunakan untuk mengatur tampilan website dan mengatur komunikasi antara sistem otomatisasi penyiraman dan pengguna. Data dari sensor seperti suhu dan kelembaban juga akan ditampilkan di *website* dan *mobile app* dalam bentuk tabel atau grafik yang mudah dipahami oleh pengguna. Oleh karena itu, tahap pembuatan program kendali *website* dan *mobile app* akan menghasilkan antarmuka yang memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengendalikan sistem penyiraman tanaman bawang merah secara otomatis serta melihat data dari sensor yang terhubung.

c. Pengaktifan WiFi

Pada tahap ini akan membahas bagaimana mengaktifkan koneksi WiFi pada NodeMCU ESP32, yang akan memungkinkannya terhubung ke jaringan WiFi yang ada. Peneliti akan mengatur parameter jaringan, seperti SSID dan kata sandi untuk memungkinkan NodeMCU ESP32 terhubung ke internet.

d. Pengujian *Website* dan *mobile app*

Peneliti akan menguji sistem secara keseluruhan setelah program kendali (*website* dan *mobile app*) selesai. Memastikan bahwa data sensor ditampilkan dengan benar di situs web dan aplikasi dan bahwa kontrol beroperasi sesuai harapan melalui situs web dan aplikasi.

Untuk bagian lahan pengujian dilakukan tahapan sebagai berikut

a. Persiapan lahan

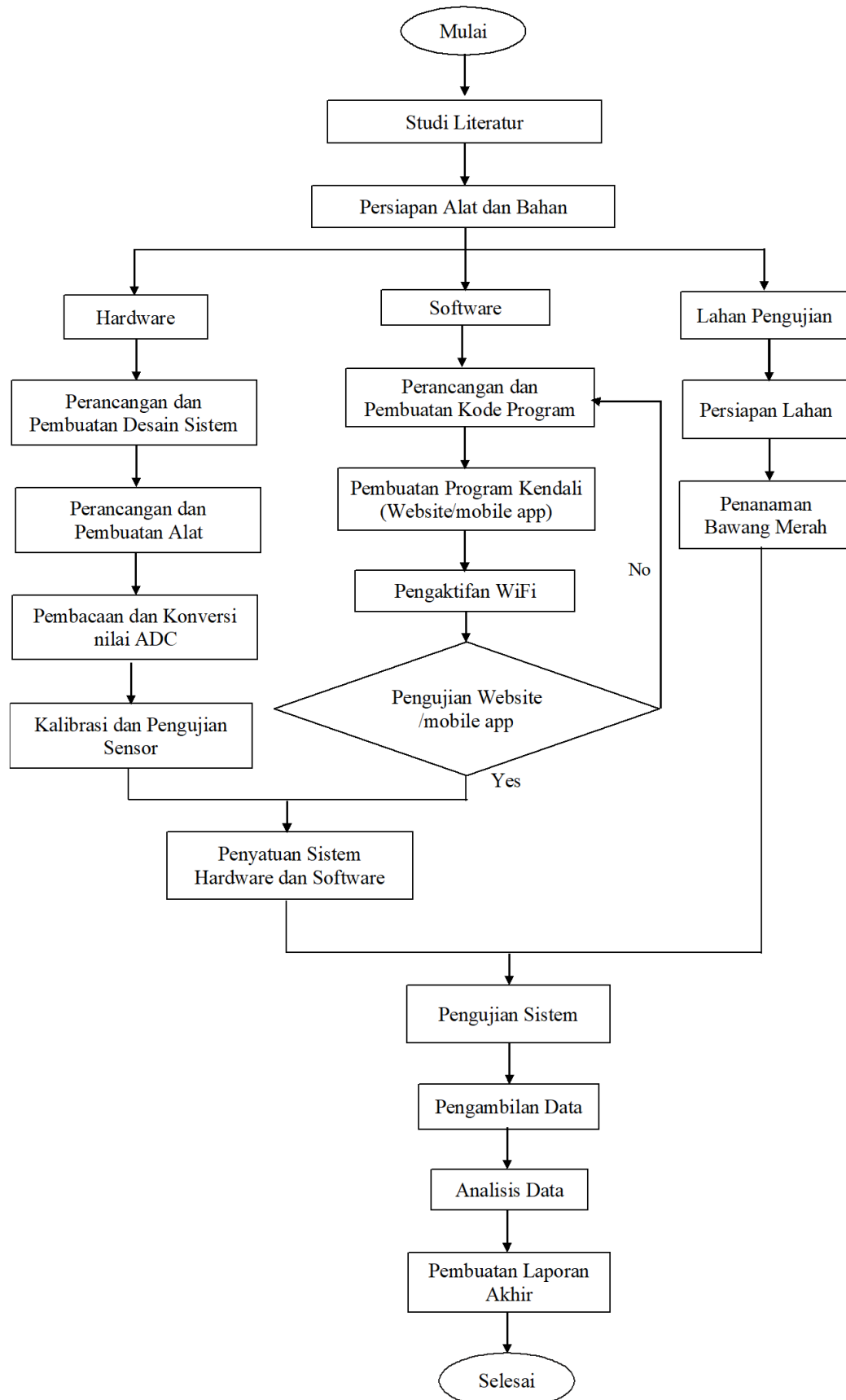
Pada tahap ini, lahan yang akan digunakan untuk menanam bawang merah harus disiapkan. Ini mencakup pembuatan rak media tanam, pengisian tanah ke dalam rak, serta membersihkan dan meratakan tanah di area penanaman. Perlu diingat bahwa lahan yang digunakan untuk penelitian tidak luas, melainkan hanya untuk uji coba, dan berbentuk persegi dengan ukuran 2×2 meter yang menyerupai lokasi tanah berbatu.

- b. Setelah semua persiapan selesai, peneliti akan menanam bawang merah sesuai dengan varietas yang telah dipilih. Tampilan lahan pengujian dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Lahan Pengujian

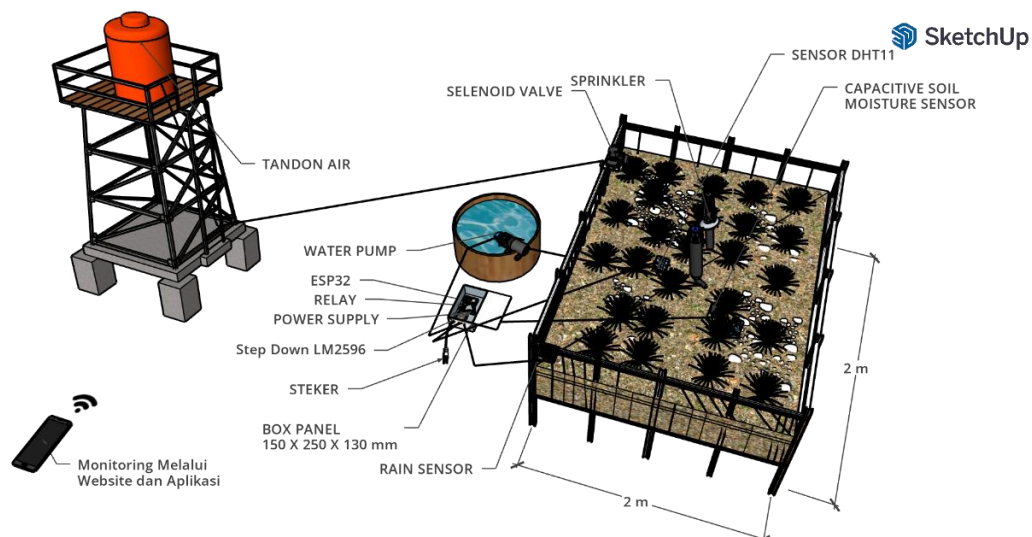
Setelah menyelesaikan pembuatan *hardware*, *software* dan lahan pengujian untuk penelitian otomasi sistem penyiraman tanaman bawang merah berbasis IoT, tahap selanjutnya adalah penyatuan sistem *hardware* dan *software*. Tujuan dari tahap ini adalah untuk mengintegrasikan perangkat keras dan perangkat lunak menjadi satu sistem yang berfungsi. Selanjutnya melakukan pengujian alat dan pengambilan data dengan pembacaan data pada saat sistem yang diimplementasikan pada sistem real. Pada tahap ini, juga dilakukan monitoring untuk memastikan sistem bekerja dengan baik pada lokasi tanah berbatu. Pengambilan data dilakukan selama 10 hari. Data yang diperoleh oleh peneliti akan dianalisis untuk pembuatan laporan akhir. Secara umum *flowchart* Penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3.3 Flowchart Penelitian

3.5 Tahap Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Perancangan perangkat dibagi menjadi dua tahap, yakni tahap perancangan perangkat keras (*Hardware*) dan yang kedua tahap perancangan pada perangkat lunak (*Software*). Adapun perancangan modul perangkat keras alat penyiraman otomatis berbasis IoT pada tanaman bawang merah (*Allium ascalonicum L*) pada lokasi tanah berbatu menggunakan NodeMCU ESP32 ditampilkan pada *smartphone* dengan berbasis *website dan mobile app*. Desain Perancangan Perangkat Keras Sistem ditunjukkan pada **Gambar 3.4**.

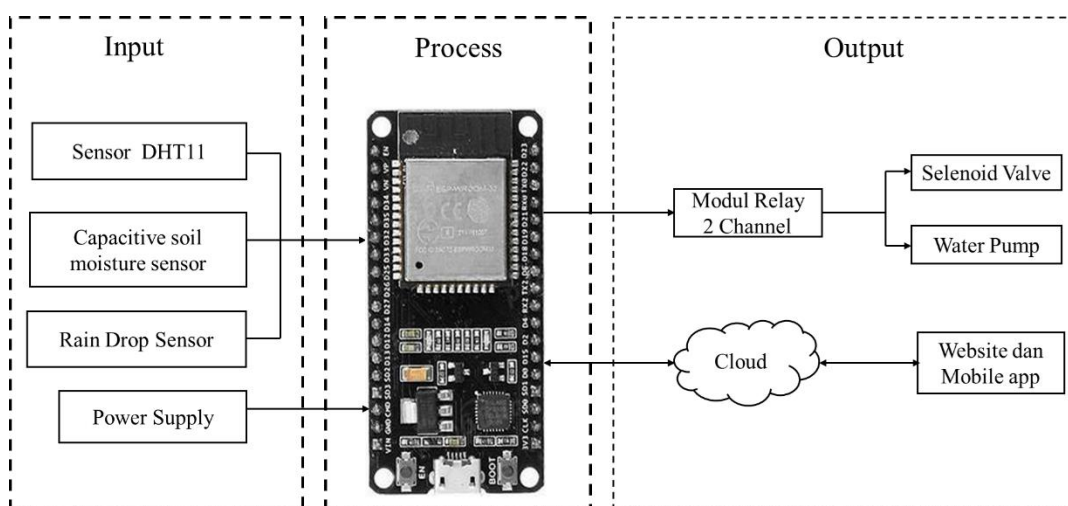


Gambar 3.4 Perancangan Desain Perangkat Keras Sistem (Koleksi Pribadi)

Gambar 3.4 menunjukkan bagaimana desain rangkaian dari perangkat keras elektronik dari sistem yang dibuat oleh peneliti. Penelitian ini dibuat bertujuan untuk mengotomasi sistem penyiraman tanaman bawang merah dengan memanfaatkan mikrokontroler NodeMCU ESP32. NodeMCU ESP32 berfungsi sebagai mikrokontroler yang digunakan sebagai monitoring sekaligus kendali. Capacitive Soil Moisture Sensor digunakan sebagai deteksi kelembaban tanah, DHT11 digunakan sebagai deteksi suhu dan kelembaban udara pada sekitar tanaman bawang merah, dan *raindrop* sensor digunakan untuk pendeteksi hujan atau tidak hujan. Pada sistem ini terdapat 2 relay yang berfungsi sebagai saklar otomatis pada *solenoid valve* dan pompa untuk pestisida. *Solenoid valve* berfungsi sebagai katup pengatur aliran air yang dikendalikan secara otomatis melalui sinyal

listrik. Ketika kondisi tanah kering, *solenoid valve* akan diaktifkan dan air akan disiram ke tanaman bawang merah. Sementara itu, pompa air digunakan untuk menyemprotkan pestisida yang akan diaktifkan saat tanaman terkena hujan, tujuannya adalah untuk melindungi tanaman bawang merah dari serangan hama. Data yang dikumpulkan dari berbagai sensor digunakan untuk mengoptimalkan penyiraman, sehingga tanaman hanya disiram ketika diperlukan, menghemat air, dan harapannya mendapatkan hasil panen yang lebih baik.

Gambaran umum sistem ditunjukkan oleh blok diagram pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3.5 Blok Diagram Gambaran Umum Sistem

Berdasarkan **Gambar 3.5**, blok diagram gambaran umum sistem dijelaskan sebagai berikut.

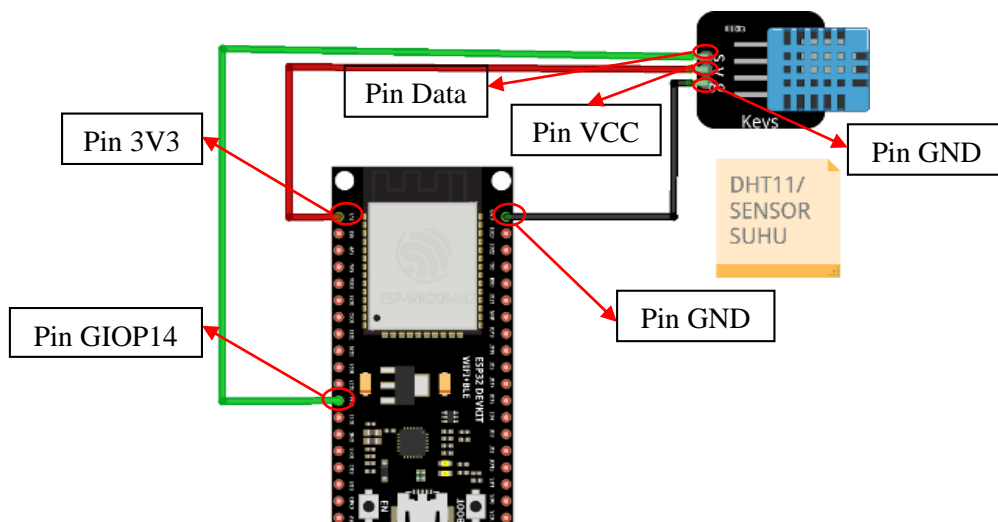
1. Bagian input yaitu Sensor DHT11, *Capacitive soil moisture sensor*, *Rain Drop Sensor* dan *power supply* yang akan digunakan untuk mendeteksi nilai kelembaban tanah, kelembaban dan suhu udara, serta mendeteksi hujan pada lokasi tanah berbatu. Fungsi masing-masing sensor seperti yang dijelaskan perancangan desain perangkat keras sistem dan *power supply* sebagai sumber daya untuk sistem atau memasok daya untuk semua komponen yang membutuhkan daya.
2. Bagian process berupa NodeMCU ESP32 yaitu mikrokontroler yang berfungsi sebagai pusat kontrol sistem. NodeMCU ESP32 ini mengumpulkan data dari

sensor-sensor yang digunakan dan menggunakannya untuk membuat keputusan. NodeMCU ESP32 juga mengontrol output-output sistem.

3. Bagian output yaitu ketika NodeMCU ESP32 mengetahui bahwa tanaman membutuhkan penyiraman, modul relay 1 akan mengaktifkan *solenoid valve* untuk menyiram tanaman. Saat tanaman terkena hujan, relay 2 akan diaktifkan untuk menyemprotkan pestisida, dengan tujuan melindungi tanaman bawang merah dari serangan hama. NodeMCU ESP32 akan terhubung ke jaringan WiFi dan *cloud server* menyimpan dan mengirim setiap data melalui internet ke website dan *mobile app* secara *real time*. Petani tanaman bawang merah dapat menggunakan *smartphone* untuk mengakses situs web/*mobile app* sebagai media informasi data kelembaban tanah, kelembaban dan suhu udara, hasil deteksi hujan serta mengatur sistem penyiraman.

3.5.1 Rangkaian Sensor DHT11

Rangkaian ini menggunakan Sensor DHT11 yang terhubung dengan NodeMCU ESP32 yaitu port VCC DHT11 terhubung dengan 3V3 NodeMCU ESP32, port GND DHT11 terhubung dengan GND dan data DHT11 terhubung dengan GPIO14 NodeMCU ESP32. Rangkaian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.6**.

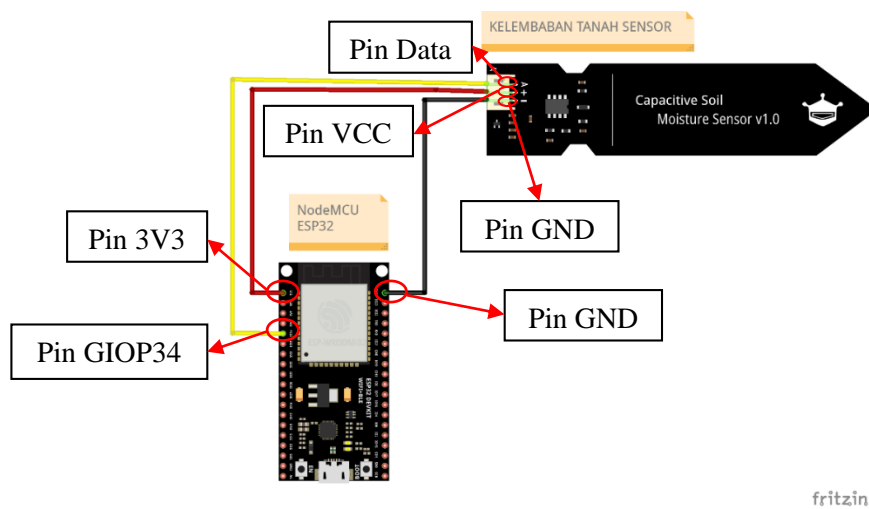


fritzing

Gambar 3.6 Rangkaian Sensor DHT11

3.5.2 Rangkaian Capacitive Soil Moisture Sensor

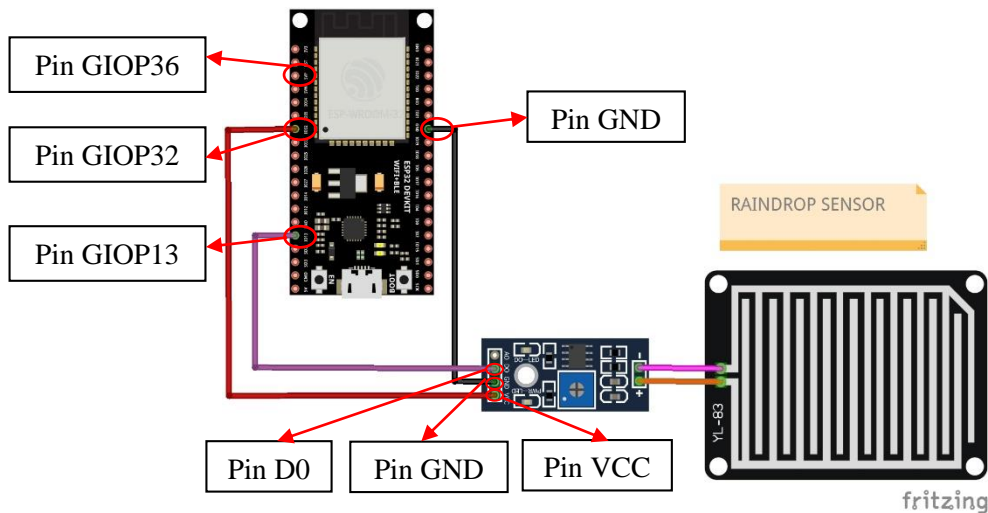
Rangkaian ini menggunakan sensor ultrasonik yang terhubung ke NodeMCU ESP32 yaitu dengan menghubungkan port 3V3 NodeMCU ESP32 terhubung dengan Vcc Capacitive Soil moisture sensor, port GPIO34 NodeMCU ESP32 terhubung dengan analog output Capacitive Soil moisture sensor dan dan port GND NodeMCU ESP32 terhubung dengan GND dari Capacitive Soil moisture sensor. Rangkaian *Capacitive Soil moisture sensor* ditunjukkan pada **Gambar 3.7**.



Gambar 3.7 Rangkaian *Capacitive Soil moisture sensor*

3.5.3 Rangkaian Raindrop Sensor

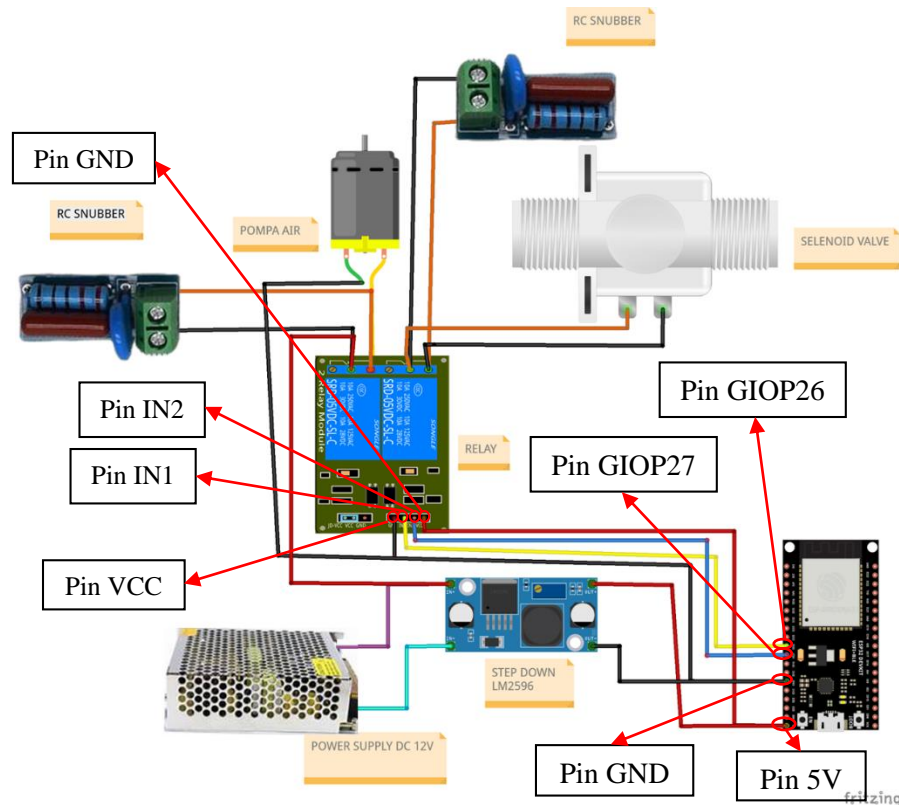
Rangkaian ini menggunakan *raindrop sensor* yang terhubung dengan NodeMCU ESP32 yaitu port GPIO13 NodeMCU ESP32 terhubung dengan D0 Sensor raindrop, port GPIO32 NodeMCU ESP32 terhubung dengan Vcc *Sensor raindrop*, dan port GND NodeMCU ESP32 terhubung dengan GND Sensor raindrop. Rangkaian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.8**.



Gambar 3.8 Rangkaian *Raindrop Sensor*

3.5.4 Rangkaian Relay, *Solenoid Valve*, Pompa Air, LM2596, dan Power Supply

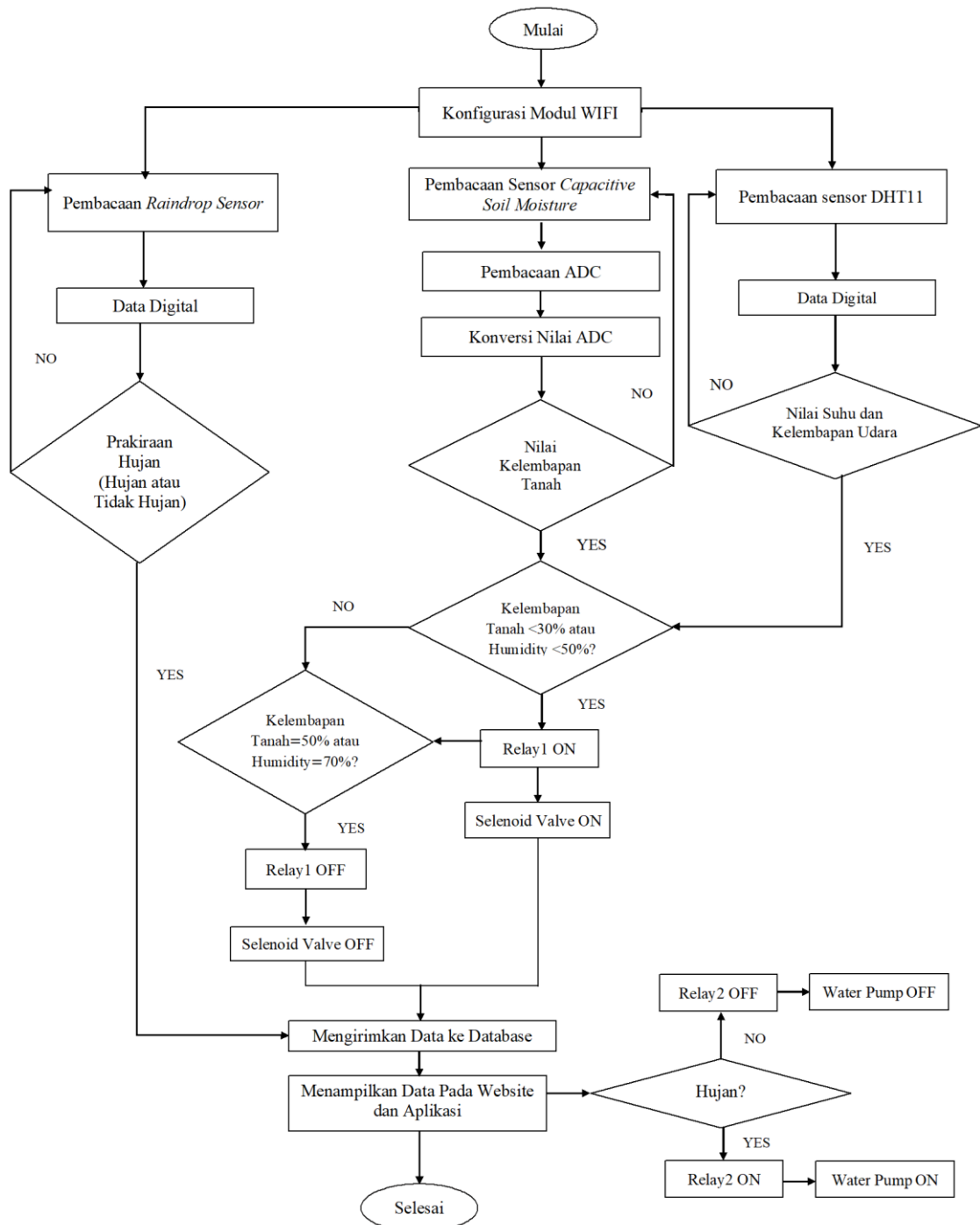
Rangkaian ini terdapat rangkaian relay, *solenoid valve*, pompa air, LM2596 dan power supply yang terhubung ke NodeMCU ESP32. Rangkaian pertama dengan menghubungkan relay dan NodeMCU ESP32, yaitu port GND NodeMCU ESP32 terhubung dengan GND dari relay, port V5 NodeMCU ESP32 terhubung dengan Vcc dari relay, port GIOP 26 NodeMCU ESP32 terhubung dengan IN 1 relay, dan port GIOP27 NodeMCU ESP32 terhubung dengan IN 2 relay. Rangkaian kedua, step down LM2596 DC dihubungkan dengan NodeMCU ESP32 yaitu port out+ LM2596 DC terhubung dengan 5V NodeMCU ESP32 dan out- LM2596 DC terhubung dengan GND NodeMCU ESP32 yang kemudian IN+ dan IN- terhubung dengan power supply 12V. Rangkaian ketiga, menghubungkan Relay 1 dengan *solenoid valve*, yaitu port N0 pada relay 1 terhubung dengan VCC *solenoid valve* dan NC pada relay 1 terhubung dengan GND yang juga terhubung secara paralel ke RC snubber. Kemudian, menghubungkan relay 2 dengan pompa yaitu, port N0 pada relay 2 terhubung dengan VCC pompa dan NC pada relay 2 terhubung dengan GND yang juga terhubung secara paralel ke RC snubber. Rangkaian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.9**.



Gambar 3.9 Rangkaian Relay, Solenoid Valve, Pompa Air, LM2596 Dan Power Supply

3.6 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Pada penelitian ini dibutuhkan perangkat lunak (*software*) untuk membuat alat penyiram otomatis tanaman bawang merah yang sudah berbasis IoT dengan mikrokontroler NodeMCU ESP32. Perancangan perangkat lunaknya adalah pada arduino IDE dan tampilan dari website yang dibuat untuk menampilkan data-data yang dibutuhkan. Software arduino IDE merupakan *compiler* yang digunakan untuk memprogram NodeMCU ESP32. Pada software inilah NodeMCU ESP32 dilakukan pemrograman untuk melakukan fungsi-fungsi yang dibenamkan melalui sintaks pemrograman. Penelitian ini memerlukan akses jaringan sebagai penghubung antara perangkat satu dengan perangkat lainnya. Pada tahap ini dilakukan adalah tahap perancangan sistem kendali dan monitoring otomasi sistem penyiraman tanaman bawang dengan pengendalian NodeMCU ESP32. Langkah-langkah pada program arduino IDE dalam menjalankan otomasi sistem penyiraman dapat ditunjukkan pada **Gambar 3.10**.



Gambar 3.10 Diagram Alir Otomasi Sistem Penyiraman

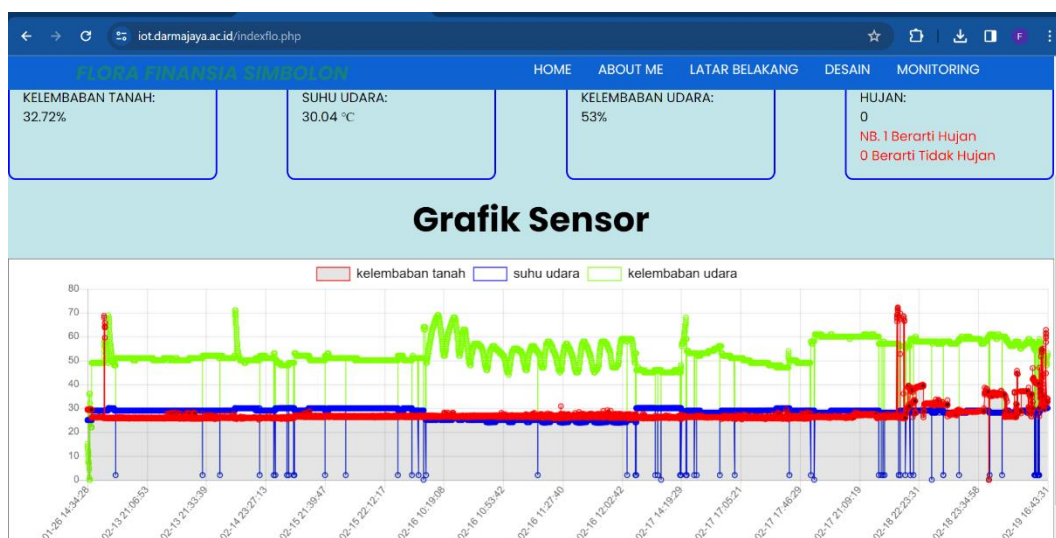
Diagram alir otomasi sistem penyiraman dapat dijelaskan sebagai berikut. Pertama, setelah semua rangkaian dan komponen siap maka parameter sensor akan dibaca oleh mikrokontroler dan mengatur dan mengkonfigurasi modul WiFi untuk menghubungkan sistem ke jaringan internet. Pembacaan sensor hujan, pembacaan nilai kelembaban (*capacitive soil moisture sensor*), dan pembacaan nilai

kelembaban udara dan suhu udara (sensor DHT11). Pembacaan ADC dan konversi nilai ADC dari sensor kelembaban tanah karena sensor tersebut masih analog sedangkan sensor DHT11 dan sensor hujan datanya digital. Pada ketiga sensor yang digunakan jika nilai yang dihasilkan belum sesuai maka akan dilakukan pembacaan ulang sensor. Nilai kelembaban tanah dan kelembaban udara dijadikan dasar penentuan status *on/off solenoid valve*.

Berdasarkan **Tabel 2.1** bahwa kelembaban tanah ideal untuk tanaman bawang adalah ($30\% \leq \text{kelembaban tanah} \leq 50\%$) dan kelembaban udara yang ideal untuk tanaman bawang adalah ($50\% \leq \text{Humidity} \leq 70\%$). Jika nilai kelembaban tanah $<30\%$ atau kelembaban udara $<50\%$ maka mikrokontroler akan mengirim perintah ke relay 1 untuk menyala maka *solenoid valve* akan menyala secara otomatis atau berstatus *ON*. Kemudian, jika kelembaban tanah tidak $<30\%$ dan kelembaban udara tidak $<50\%$ maka tidak ada aksi apapun atau relay dan *solenoid valve Off*. Lalu, sensor akan kembali mendeteksi kelembaban tanah. Ketika terjadi proses penyiraman dengan aktifnya *solenoid valve* maka sensor akan mendeteksi sampai batas kelembaban tanah tidak lebih dari 50% dan kelembaban udara tidak lebih dari 70%. Jika kelembaban tanah yang terdeteksi $\geq 50\%$ dan kelembaban udara $\geq 70\%$, maka relay dan *solenoid valve* akan *Off* secara otomatis. Status *on/off solenoid valve* untuk penyiraman juga bisa dikendalikan secara langsung oleh user melalui aplikasi. Setelah hujan pompa akan diaktifkan dengan menggunakan aplikasi. Setelah nilai kelembaban tanah, kelembaban udara, suhu udara dan hasil deteksi hujan diolah maka langsung dikirim dan ditampilkan ke *website* dan mobile app secara *real time*. Sehingga, pengguna *smartphone* dapat mengendalikan dan memonitoring otomatisasi penyiraman tanaman bawang merah.

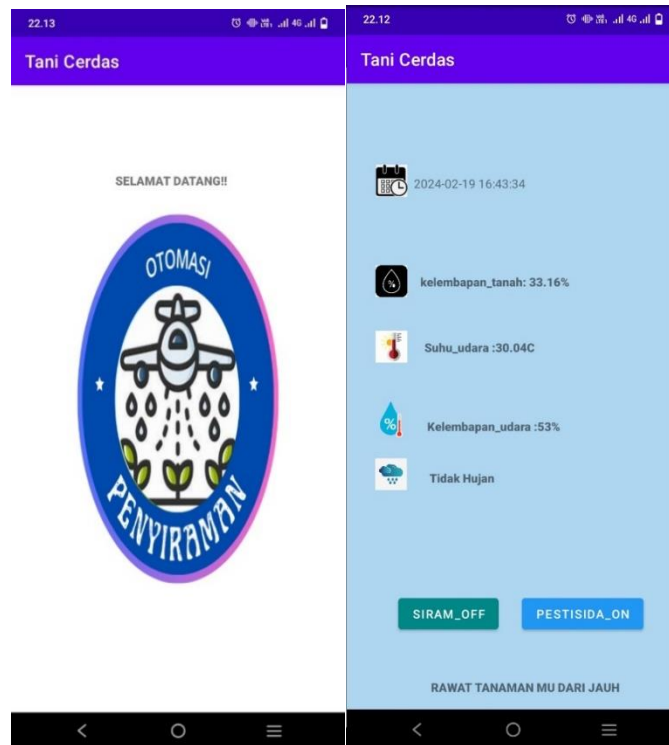
Adapun platform IoT yang digunakan pada penelitian ini adalah *website dan mobile app*. Uji widget yang telah ditambahkan untuk mengontrol alat penyiram tanaman. Sistem ini berfungsi sebagai kendali atau kontrol dengan menggunakan *smartphone*. Dalam proyek *website*, membuat widget yang sesuai untuk menampilkan data suhu dan kelembaban udara, kelembaban tanah dan hasil deteksi hujan. Program NodeMCU ESP32 untuk mengirimkan data ke server website. Pada

website dapat menampilkan data suhu udara, kelembaban udara, kelembaban tanah dan pendeteksi hujan atau tidak hujan secara *real-time* yang dapat memantau kondisi tanaman bawang merah. Memastikan koneksi antara sensor dan NodeMCU ESP32 terhubung dengan benar. Program NodeMCU ESP32 akan membaca data dari sensor DHT11 (suhu dan kelembaban udara) dan data dari *Capacitive Soil Moisture Sensor* (kadar air tanah) serta data dari *raindrop sensor* (pendeteksi hujan). NodeMCU ESP32 akan mengirimkan perintah ke sensor dan menerima data yang dikirim kembali. Mengkonfigurasi NodeMCU ESP32 untuk terhubung ke jaringan WiFi yang tersedia. Dalam hal ini akan menggunakan akses internet melalui WiFi untuk mengirimkan data ke *website*. Desain rancangan perangkat lunak dengan website dapat dilihat pada **Gambar 3.11**.



Gambar 3.11 Desain Tampilan Website

Pada desain aplikasi, sama seperti desain tampilan web dimana data dari setiap sensor akan dimunculkan. Desain rancangan perangkat lunak dengan aplikasi dapat dilihat pada **Gambar 3.12**.



Gambar 3.12 Desain Tampilan Aplikasi

Dalam aplikasi sistem otomasi penyiraman bawang merah tersedia kontrol tombol yang memungkinkan pengguna mengatur solenoid valve untuk penyiraman dan pompa untuk pestisida. Tombol-tombol ini didesain untuk mengaktifkan atau menonaktifkan fungsi kedua perangkat tersebut sesuai kebutuhan. Dengan mengklik tombol yang sesuai, pengguna bisa mengendalikan aliran air dan proses penyiraman tanaman secara langsung melalui aplikasi, memberikan fleksibilitas dalam mengelola sistem penyiraman dengan lebih efektif.

3.7 Metode Penelitian

Metode penelitian untuk pengambilan data pada penelitian ini adalah *Research and Development* (R&D). Metode penelitian *Research and Development* merupakan metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu dan menguji keefektifan produk tersebut. Pada penelitian ini dengan membuat alat otomasi penyiraman tanaman bawang dan menguji keefektifan dari alat otomasi pada lokasi tanah berbatu berbasis IoT dengan menggunakan *website* dan *mobile app*. Data akan diambil dari pembacaan sensor yang digunakan yaitu berupa data

suhu, kelembaban udara, kelembaban tanah dan hasil deteksi hujan. Selanjutnya nilai dari data sensor dibandingkan dengan nilai data sebenarnya yang akan diukur menggunakan sebuah instrumen ukur untuk menguji keakuratan alat. Menganalisis dan menginterpretasikan hasil pengujian untuk mencapai kesimpulan apakah penggunaan alat penyiraman otomatis berbasis IoT pada tanaman bawang merah pada lokasi tanah berbatu dapat bekerja dengan optimal.

3.8 Metode Analisis Data

Metode analisis datanya adalah analisis kuantitatif. Dimana analisis data dilakukan setelah data dari pengujian atau sumber data lain terkumpul. Setelah data diperoleh selanjutnya data akan dikelompokkan pada tabel menurut variabel. Kemudian, mengidentifikasi hasil pembacaan sensor pada lokasi tanah berbatu. Diharapkan hasil pada penelitian ini adalah keluaran data berupa nilai kelembaban pada tanah, nilai suhu dan kelembaban udara, hasil deteksi hujan serta berjalannya alat penyiraman tanaman secara otomatis yang dapat dimonitoring lewat smartphone dengan website dan aplikasi, sehingga dari data nilai keluaran tersebut peneliti dapat menganalisis kondisi tanah berbatu dan dampaknya terhadap kebutuhan air tanaman bawang merah.

3.9 Rancangan Data Pengujian

Rancangan data pengujian pada penelitian ini adalah berupa data kelembaban tanah, suhu dan kelembaban udara serta hasil deteksi hujan.

3.9.1 Pengujian Kelembaban Tanah

Pada penelitian ini metode Gravimetri digunakan untuk mengukur kadar air sebagai standar acuan yang memastikan capacitive soil moisture sensor memberikan data yang konsisten dan sensor berfungsi dengan baik. Nilai kelembaban dicari dengan menggunakan **Persamaan 2.1** dan **Persamaan 2.2**. Data perbandingan uji kelembaban tanah dengan metode gravimetri dan kelembaban yang diukur oleh capacitive soil moisture sensor disajikan pada **Tabel 3.4**.

Tabel 3.4 Data Pengujian Sensor Kelembaban Tanah

No	Massa Tanah Kering (gr)	Air (ml)	Massa Tanah Basah (gr)	Nilai ADC	Capacitive Soil moisture Sensor (%)	Metode Gravimetri (%)	Selisih (%)	$(\bar{X}_n - \bar{X})^2$	Error (%)	Akurasi (%)
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

NodeMCU ESP32 menggunakan *Analog to Digital Converter* (ADC) dengan rentang nilai dari 0 hingga 4095. Nilai ADC yang lebih tinggi adalah kelembaban tanah yang lebih rendah. Nilai data berupa ADC yang diperoleh dari sensor kelembaban tanah akan diubah kebentuk persen menggunakan **persamaan 3.1** berikut (Datasheet, ESP32).

$$\text{SoilMoisture}(\%) = 100 - ((\text{ADC} / 4095) \times 100) \quad (3.1)$$

Nilai ADC adalah hasil dari pembacaan sensor kelembaban tanah kapasitif yang diukur oleh mikrokontroler ESP32. ADC minimum yang mungkin yaitu bernilai 0 menunjukkan kadar air tanah yang sangat tinggi (basah) dan nilai ADC akan mencapai nilai maksimum yaitu bernilai 4095 menunjukkan kadar air tanah yang sangat rendah (kering). Nilai 100 dalam rumus tersebut adalah nilai maksimum yang digunakan sebagai referensi untuk menghitung persentase kadar air tanah. Oleh karena itu, rumus ini mengukur sejauh mana nilai ADC mendekati nilai maksimum yang merupakan tingkat kadar air tanah. Semakin tinggi nilai ADC semakin rendah kelembaban tanahnya, dan semakin rendah nilai persentase yang dihasilkan dalam rumus.

Kemudian berdasarkan data yang terkumpul perlu dilakukan kalibrasi sensor untuk mengetahui persentase nilai error (%), dan akurasi alat. Adapun persamaan untuk mengetahui nilai rata-rata, nilai error, nilai akurasi dan nilai standar deviasi dapat dilihat pada **Persamaan 3.2, Persamaan 3.3, Persamaan 3.4, dan Persamaan 3.5.**

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (3.2)$$

$$\text{NilaiError}(\%) = \left| \frac{Y - X_n}{Y} \right| \times 100\% \quad (3.3)$$

$$\text{Akurasi}(\%) = \left(1 - \left| \frac{Y - X_n}{Y} \right| \right) \times 100\% \quad (3.4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\bar{X}_1 - \bar{X})^2}{n}} \quad (3.5)$$

Dimana, $\sum x_i$ adalah jumlah semua nilai data, n adalah banyak data, Y adalah nilai parameter referensi, X_n adalah nilai parameter terukur ke- n (Syahputri, 2022), σ adalah standar deviasi, \bar{X}_1 adalah data selisih, dan \bar{X} adalah rata-rata nilai selisih (Setyawan *et al.*, 2018).

3.9.2 Pengujian Suhu Udara

Uji sensor DHT11(°C) untuk suhu udara dilakukan dengan membandingkan data suhu udara dengan menggunakan alat ukur HTC-1(°C). Data perbandingan suhu udara yang diukur sensor DHT11 dengan suhu udara yang diukur HTC-1 disajikan pada **Tabel 3.5**.

Tabel 3.5 Data Pengujian Suhu Udara

No	Suhu Udara HTC-1 (°C)	Suhu Udara DHT11 (°C)	Selisih (°C)	$(\bar{X}_n - \bar{X})^2$	Error (%)	Akurasi (%)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

3.9.3 Pengujian Kelembaban Udara

Uji sensor DHT11(%) untuk kelembaban udara dilakukan dengan membandingkan data kelembaban udara dengan menggunakan alat ukur HTC-1(%). Data perbandingan kelembaban udara yang diukur sensor DHT11 dengan kelembaban yang diukur HTC-1 disajikan pada **Tabel 3.6**.

Tabel 3.6 Data Pengujian Kelembaban Udara

No	Kelembaban Udara HTC-1 (%)	Kelembaban Udara DHT11 (%)	Selisih (%)	$(\bar{X}_n - \bar{X})^2$	Error (%)	Akurasi (%)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

3.9.4 Pengujian Pendeteksi Hujan

Uji raindrop sensor dilakukan untuk untuk mengetahui kondisi hujan (deteksi hujan atau tidak hujan). Output dari sensor ini menggunakan logika high dan low (on atau off), yaitu berupa nilai digital 0 dan 1. Data nilai ADC *raindrop* sensor dan hasil deteksi hujan atau tidak hujan disajikan pada **Tabel 3.7**.

Tabel 3.7 Data Pengujian *Raindrop Sensor* dan Hasil Deteksi

No	Tanggal	Waktu	Lokasi	Nilai Digital	Hasil Deteksi	Kondisi Sebenarnya (<i>outdoor</i>)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

3.9.5 Pengujian *Web Server* dan Aplikasi

Peneliti akan menguji sistem secara keseluruhan setelah program kendali (*website* dan aplikasi) selesai. Tujuan dari pengujian *web server* dan aplikasi adalah untuk memastikan bahwa *web server*/aplikasi yang telah dibuat dan NodeMCU terhubung dengan baik melalui protokol HTTPS. Ini memverifikasi bahwa pengolahan data NodeMCU benar. Memastikan bahwa data sensor ditampilkan dengan benar di situs *web*/aplikasi dan bahwa kontrol beroperasi sesuai harapan melalui situs *web* dan aplikasi. Data dari sensor seperti suhu dan kelembaban juga akan ditampilkan di *web*/aplikasi dalam bentuk tabel atau grafik yang mudah dipahami oleh pengguna. Pengujian aplikasi ditunjukkan pada **Gambar 3.13**.



Gambar 3.13 Pengujian Aplikasi

3.10 Rancangan Pengambilan Data

Rancangan pengambilan data pada penelitian ini adalah berupa data nilai sensor kelembaban tanah, suhu dan kelembaban udara, hasil deteksi hujan, dan hasil observasi otomasi sistem berupa kondisi solenoid valve (*On/Off*) dan kondisi

pompa pestisida (*On/Off*), serta keterangan yang berisi waktu terjadinya hujan. Pengambilan data dilakukan selama 10 hari seperti disajikan pada **Tabel 3.8**.

Tabel 3.8 Data Nilai Sensor dan Hasil Observasi Otomasi Sistem Penyiraman

No	Tanggal	Waktu	Nilai Sensor			Deteksi Hujan/tidak hujan	Kondisi Solenoid Valve	Kondisi Pompa	Keterangan
			Kelembaban Tanah (%)	Kelembaban Udara (%)	Suhu Udara (°C)				
1									
2									
3									
4									
5									
...									
10									

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian ini, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Sistem otomasi penyiraman tanaman bawang merah pada lokasi tanah berbatu untuk monitoring kelembaban tanah, kelembaban udara, suhu udara dan curah hujan (hujan atau tidak hujan) berbasis *Internet of Things* menggunakan NodeMCU ESP32 terealisasi dan bekerja dengan baik dengan hasil pengukuran alat monitoring dapat dilihat secara real time menggunakan aplikasi dan website, serta terbukti efektif dalam mendukung pertumbuhan tanaman bawang merah pada lokasi tanah berbatu.
2. Nilai parameter kelembaban tanah yang terukur pada rentang 19,46%-79,19% dan kelembaban udara pada rentang 17,6%-96,6%. *Solenoid valve* ON saat kelembaban tanah $<30\%$ atau kelembaban udara $<50\%$ dan OFF saat kelembaban tanah $\geq 50\%$ kelembaban udara $\geq 70\%$. Kode program telah dikembangkan yang memungkinkan pengaturan waktu penyiraman serta pengelolaan kelembaban tanah dan kelembaban udara secara otomatis sesuai dengan *setting point*.
3. Nilai parameter hujan yang terukur antara 1 dan 0. Nilai 1 (*high*) saat tidak hujan dan 0 (*low*) saat terjadi hujan. Sensor hujan bekerja dengan baik dan petani akan mengendalikan pompa (*On/Off*) menggunakan aplikasi agar ON setelah hujan untuk penyemprotan pestisida.

5.2 Saran

Melakukan replikasi penelitian pada skala yang lebih besar atau lokasi yang penanaman yang lebih luas untuk memvalidasi hasil, serta mengeksplorasi potensi penerapan sistem otomasi penyiraman pada tanaman lain yang ditanaman pada tanah berbatu. Menambah jumlah sensor untuk mendapatkan data yang representatif. Menambahkan fitur pengeringan tanah untuk drainase agar kelembaban tanah tidak berlebihan saat musim hujan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulloh, R. 2015. *Web Programming is Easy*. PT Elex Media Komputindo. Jakarta, 50.
- Abidin, B. S. (2021). Penggunaan Arang Sekam Padi (Biochar) dan Pestisida Nabati Bawang Putih terhadap Pertumbuhan serta Produksi Tanaman Bawang Merah (*Allium ascalocinum* L). *PhD Thesis*. Universitas Islam Riau.
- Adytia, R., Pasaribu, K. T. J., Mahendri, C. D., Septiana, A., Dewi, M. K. C., Sumakul, A., Sahur, A. F. G., Budianto, C. N., Putri, A., dan Quita10, A. G. (2023). Strategi Pengembangan Potensi Desa Dan Pemanfaatan Whatsapp Business Untuk Meningkatkan Nilai Ekonomi Bawang Merah Di Desa Srikayangan. *Prosiding SENAPAS*, 1(1). 167-174.
- Afriady, D., Qurani, N., dan Rohman, H. F. (2018). Membangun Website Pt. Mandiri Kavling Baturaja Menggunakan PHP dan MYSQL. *JTIM: Jurnal Teknik Informatika Mahakarya*, 1(2), 47–54.
- Agus, M., Maharani, P. A., dan Rafrin, M. (2023). Perancangan Sistem Pemantauan Kelembaban Tanah, Udara dan Suhu pada Tanaman Bawang Merah Menggunakan IoT. *Prosiding SISFOTEK*, 7(1), 102-108.
- Aliismet, F., HS, N. A., dan Radjaloa, V. H. A. (2023). Income Analysis of the Welfare Level of Red Onion (*Allium cepa* L) Farmers; Case Study: Shallot Farmers in Topo Village, Tidore District, Tidore City, Islands, North Maluku Province. *Agrikan Jurnal Agribisnis Perikanan*, 16(1), 172–177.
- Anam, K., Miftakhurrohmat, A., dan Abror, M. (2022). Pengaruh Pemberian Phosfor dan Intensitas Penyiraman Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Bawang Merah (*Allium Ascalonicum* L.). *Agriculture*, 17(2), 112–125.
- Anis, N., dan Budi, A. S. (2023). Sistem Penyiraman Tanaman Bawang Merah berdasarkan Kondisi Suhu Udara, Kelembaban Tanah, dan PH Tanah dengan Metode Logika Fuzzy. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 7(4), 1810–1816.

- Anugrah, E., Hasbi, M., dan Lukman, M. P. (2021). Penerapan Sistem Monitoring Dan Kendali Pintar Untuk Tanaman Terung Berbasis Internet of Things Dengan Metode Penyiraman Irigasi Tetes. *Jurnal RESISTOR (Rekayasa Sistem Komputer)*, 4(2), 204–212.
- Aosong Electronics Co. (2010). *AM2302/DHT22 Product Manual*, 2.
- Aprilia, R. L., dan Sukur, S. (2022). Kajian Sifat Fisik, Kimia, Dan Biologi Pada Tanah Berpasir Di Beberapa Wilayah Indonesia. *Agronu: Jurnal Agroteknologi*, 1(02), 71–79.
- Ardiyanto, Y., dan Mustar, M. Y. (2020). Rancang Bangun Graphical User Interface Sebagai Sistem Monitoring Nirkabel Pendeteksi Hujan, Suhu Dan Kelembaban. *Jurnal Edukasi Elektro*, 4(1), 1–11.
- Arduino. 2023. *Datasheet Arduino Uno*.
<https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>.
- Arius, D. (2020). *Komunikasi data*. Penerbit Andi, 37-39.
- Armanto, A., dan Puspa, M. A. P. (2020). Rancang Bangun Alat Ukur Tingkat Kelembaban Tanah Berbasis Arduino Uno. *Jusikom: Jurnal Sistem Komputer Musirawas*, 5(2), 150–157.
- Asniati, A., Hasiri, E. M., dan Fitriani, F. (2021). Sistem Kontrol Otomatis Penyiraman Tanaman Menggunakan Sprayer Berbasis Android. *Jurnal Informatika*, 10(1), 93–102.
- Asrida, A. (2020). Karakteristik Dan Klasifikasi Tanah Pada Area Perkebunan Tanaman Lada Di Kabupaten Luwu Timur Sulawesi Selatan [PhD Thesis, Universitas Hasanuddin].
- Auhaz, A. (2022). Prototipe alat monitoring dan penyiram tanaman otomatis berbasis IoT. *Doctoral dissertation*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Azizah, N., dan Thamrin, T. (2021). Penyiraman dan Pemupukan Tanaman Bawang Merah Secara Otomatis Pada Greenhouse Menggunakan Internet of Things (IoT). *Voteteknika (Vocational Teknik Elektronika Dan Informatika)*, 9(4), 74–84.
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2024. *Indonesia Produksi Bawang Merah Sebanyak 1.97 Juta Ton pada 2022*. Diakses dari <https://dataindonesia.id/industri-perdagangan/detail/indonesia-produksi-bawang-merah-sebanyak-197-juta-ton-pada-2022> pukul 15.40 WIB.

- Badan Pusat Statistik (BPS). (2024). Produksi Tanaman Sayuran - Tabel Statistik. Diakses dari <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NjEjMg==/produksi-tanaman-sayuran.html> pukul 16.00 WIB.
- Badan Pusat Statistik. (2021). *Statistika Angka Tetap Hortikultura Tahun 2021*. Direktorat Jendral Hortikultura. Kementerian Pertanian. Jakarta, 21.
- Bagaskara, K., Mahmudi, A., dan Pranoto, Y. A. (2023). Sistem Kontrol Dan Monitoring Pada Tanaman Bawang Merah Berbasis Iot. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 7(1), 873–880.
- Bar, A. M. A., Trismawati, T., dan Mustakim, M. (2021). Pembuatan Penyiram Bawang Merah Otomatis Menggunakan Arduino Atmega328P. *Industri Inovatif: Jurnal Teknik Industri*, 11(1), 9–13.
- Bijanto, B., Nugroho, S. P. A., Fredyatama, Y., Fahrani, D., dan Proborini, E. (2023). Perancangan Dan Implementasi Sistem Smartfarming Menggunakan Arduino Uno Dan Modul Esp8266. *Jurnal Disprotek-Computer: Information Systems, Informatics; Engineering: Electrical, Industrial, Civil; Aquaculture.*, 14(1), 77–90.
- Budijanto, A, Winardi, S, dan Susilo, D. K. E. (2021). *Interfacing ESP32*. Scopindo Media Pustaka.Surabaya, 1-5.
- Cahyani, R., Indriyani, K., dan Hulu, F. N. (2023). Perancangan Sistem Kontrol Pemupukan Otomatis Pada Tanaman Bawang Menggunakan Rtc Ds3231 Dengan Sensor Hujan Fc-37 Berbasis IoT. *Prosiding Konferensi Nasional Social dan Engineering Polmed (KONSEP)*, 4(1), 344–350.
- Dedy, I. J., Adriantantri. E., dan Farid. A. (2018). RFID and IOT for attendance monitoring system. *In MATEC Web of Conferences*. 164(01020), 1-8.
- Efendi, Y. (2018). Internet of Things (IOT) sistem pengendalian lampu menggunakan Raspberry PI berbasis mobile. *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas Al Asyariah Mandar*, 4(2), 21–27.
- Effendi, N., Ramadhani, W., Farida, F., dan Dimas, M. (2022). Perancangan sistem penyiraman tanaman otomatis menggunakan sensor kelembaban tanah berbasis IoT. *Jurnal CoSciTech (Computer Science and Information Technology)*, 3(2), 91–98.
- Endra, R. Y., Cucus, A., Affandi, F. N., dan Hermawan, D. (2019). Implementasi Sistem Kontrol Berbasis Web Pada Smart Room Dengan Menggunakan Konsep Internet Of Things. *Explore: Jurnal Sistem Informasi Dan Telematika (Telekomunikasi, Multimedia Dan Informatika)*, 10(2), 98-106.

- Fadhilah, M. D., Santoso, I. H., dan Astuti, S. (2021). Rancang bangun alat penyiraman otomatis berbasis Internet of Things dengan Notifikasi Whatsapp. *eProceedings of Engineering*, 8(6), 11816-11828.
- Fadilah, M. R., dan RI, S. R. (2023). Estimasi Ketinggian Planetary Boundary Layer Berdasarkan Data Radiosonde RS92 Menggunakan Gradien Vertikal Kelembaban Udara. *KLIK: Kajian Ilmiah Informatika Dan Komputer*, 4(2), 709–717.
- Fauzia, N., Kholis, N., dan Wardana, H. K. (2021). Otomatisasi Penyiraman Tanaman Cabai Dan Tomat Berbasis Iot. *Reaktom: Rekayasa Keteknikn Dan Optimasi*, 6(1), 22–28.
- Firmansyah, A., Periyadi, P., dan Sari, M. I. (2021). Implementasi Sistem Irigasi Pertanian Untuk Suhu Kelembaban Tanah Pada Padi Berbasis Arduino Uno. *eProceedings of Applied Science*, 7(6), 2803-2818.
- Govinda, N., Supit, Y., dan Baharuddin, B. (2022). Prototype pengiriman notifikasi penerima paket berbasis esp8266. *Simtek: Jurnal Sistem Informasi Dan Teknik Komputer*, 7(1), 46–51.
- Gunawan, G., dan Fatimah, T. (2020). Implementasi sistem pengaturan suhu ruang server menggunakan sensor DHT11 dan sensor PIR berbasis mikrokontroler. *Edumatic: Jurnal Pendidikan Informatika*, 4(1), 101–110.
- Gunawan, I. J., Rini Hazriani, S. P., dan Mahardika, R. Y. (2020). *Buku Ajar Morfologi dan Klasifikasi Tanah*. Kalimantan Barat: Fakultas Pertanian Universitas Tanjungpura, 90-99.
- Hafidhin, M. I., Saputra, A., Rahmanto, Y., dan Samsugi, S. (2020). Alat Penjemuran Ikan Asin Berbasis Mikrokontroler Arduino UNO. *Jurnal Teknik Dan Sistem Komputer*, 1(2), 59–66.
- Hampe, M., Stieler, A., dan Tieste, K.-D. (2018). Damping of High-Frequency Oscillations in Power Devices Using Optimized Snubber Circuits. *2018 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC EUROPE)*, 1–6.
- Hardjowigeno, S. (2007). *Evaluasi kesesuaian lahan dan perancangan tataguna lahan*. Gajang Mada University Press. Yogyakarta, 352.
- Hidayat, D., dan Sari, I. (2021). Monitoring suhu dan kelembaban berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Teknologi Dan Ilmu Komputer Prima (JUTIKOMP)*, 4(1), 525–530.
- Hidayatullah, P., Orisa, M., dan Mahmudi, A. (2022). Rancang Bangun Sistem Monitoring Dan Kontrol Tanaman Hidroponik Berbasis Internet Of Things (IOT). *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 6(2), 1200–1207.

- Hikmat, M., Hati, D. P., dan Sukarman, S. (2022). Kajian Lahan Kering Berproduktivitas Tinggi di Nusa Tenggara untuk Pengembangan Pertanian. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 16(2), 119–133.
- Hilmi, A., dan Khotib, M. (2022). Rancang Bangun Pembuka/Penutup Atap Plastik Dengan Sensor Suhu Dan Kelembaban Tanah Pada Pembibitan Cabai Menggunakan Internet Of ThingS (IOT). *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, 24(2), 140–150.
- Hrisko, J. (2020). Capacitive soil moisture sensor theory, calibration, and testing. *Technical Report*. No, 2, 1–12.
- Ida, N. 2020. *Sensors, actuators, and their interfaces: A multidisciplinary introduction 2nd edition*. IET Control, Robotics and Sensors. USA. 449-502.
- Inggi, R., dan Pangala, J. (2021). Perancangan Alat Pendeteksi Kebocoran Gas LPG Menggunakan Sensor MQ-2 Berbasis Arduino. *Jurnal Sistem Informasi Dan Sistem Komputer*, 6(1), 12–22.
- Istiqomah, H., Ariyanti, D., dan Supraptiningsih, L. K. (2022). Prototipe Sistem Pengendali Penyiraman Air dan Penyemprotan Pestisida pada Tanaman Bawang Merah Berbasis Mikrokontroler. *Energy: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 12(2), 89–96.
- Jabbar, A. H., dan Syafitri, N. (2022). Perancangan Boost Converter untuk Menaikkan Tegangan Dari 12V ke 100-250V. *E-Proceeding FTI. Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung*, 1-11.
- Kamilah, N., Salamiah, S., dan Pramudi, M. I. (2023). Efektivitas Tiga Sumber Mikro Organisme Lokal (MOL) Terhadap Intensitas Serangan Penyakit Moler pada Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.). *Jurnal Proteksi Tanaman Tropika*, 6(3), 708–719.
- Kayangan, E. R., Rantung, R. A., dan Kalesaran, L. (2023). Perancangan Dan Uji Kinerja Sprinkler Sederhana. *Cocos*, 1(1), 1-9.
- Kedia, P. (2016). Localised weather monitoring system. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 4(2), 315–322.
- Latif, N., dan Ashari, A. (2019). Penentuan Varietas Bawang Merah pada Lahan Litosol Menggunakan Fuzzy Multiple Attribute Decision Making. *Inspiration: Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 9(1), 52–58.
- Lesmana, I. G. E., Chairunisa, F., Hartanto, M. P., dan Hartantrie, R. C. (2022). Analisis Pengaruh Getaran Pompa Terhadap Aliran Fluida pada Proses

- Pemipaan Skala Laboratorium. *Jurnal Asimetri: Jurnal Ilmiah Rekayasa Dan Inovasi*, 4(2), 201–208.
- Liu, S., Lin, H., dan Wang, T. (2019). Comparative study of three different passive snubber circuits for SiC power MOSFETs. *2019 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, 354–358.
- Mas, F.A.R., Suciwati, S.W., Pauzi, G.A., dan Junaidi. 2022. Smart Greenhouse Monitoring with Soil Temperature and Humidity Control on Internet of Things (IoT) Based Orchid Plants. *Jurnal JEMIT*, 3(3), 79-88.
- Ma, Z., Li, Y., Sun, Y., dan Sun, K. (2022). Low Voltage Direct Current Supply and Utilization System: Definition, Key Technologies and Development. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, 9(1), 331–350.
- Marbun, D., dan Sinaga, J. (2021). Perancangan Pompa Sentrifugal Untuk Kebutuhan Air Bersih Di Fakultas Teknik Universitas Darma Agung. *Jurnal Teknologi Mesin UDA*, 2(2), 76–84.
- Marcos, H., dan Muzaki, H. (2022). Monitoring Suhu Udara Dan Kelembaban Tanah Pada Budidaya Tanaman Pepaya. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Tertanam*, 3(2), 1-14.
- Mardianto, E. (2022). *Panduan Belajar Mikrokontroler Arduino*. Repository Polnep. Pontianak, 16.
- Mardika, A. G., dan Kartadie, R. (2019). Mengatur kelembaban tanah menggunakan sensor kelembaban tanah yl-69 berbasis arduino pada media tanam pohon gaharu. *JoEICT (Journal of Education And ICT)*, 3(2). 130-140.
- Mautuka, Z. A., Maifa, A., dan Karbeka, M. (2022). Pemanfaatan biochar tongkol jagung guna perbaikan sifat kimia tanah lahan kering. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(1), 201–208.
- Mulyani, A., dan Suwanda, M. H. (2019). Pengelolaan lahan kering beriklim kering untuk pengembangan jagung di Nusa Tenggara. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 13(1), 41–52.
- Muthmainnah, M., Tabriawan, D. B., dan Tazi, I. (2022). Karakterisasi Sensor MAX30102 Sebagai Alat Ukur Detak Jantung dan Suhu Tubuh Berbasis Photoplethysmograph. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 12(3), 726–731.
- Nikitha, N., Bandi, S., dan Mahalakshmi, P. (2023). IoT-Based Cattle Environment and Wellness Monitoring System. *2023 14th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, 1–6. IEEE.

- Notohadiprawiro, T. (2021). *Tanah sebagai Ujud*. Tanah, Lingkungan Dan Pertanian Berkelanjutan, 19.
- Nuraida, N., Alim, N., & Arhim, M. (2021). Analisis kadar air, bobot isi dan porositas tanah pada beberapa penggunaan lahan. *In Prosiding Seminar Nasional Biologi*, 7(1), 357-361.
- Nurkamid, M., dan Gunawan, B. (2019). Rancang Bangun Alat Penyiram Tanaman Bawang Merah Menggunakan Sensor Kelembaban Tanah. *SNATIF*, 5(2), 256–264.
- Pamungkas, S. (2019). Sistem Smart Greenhouse pada Tanaman Paprika Berbasis Internet of Things. *Telekontran: Jurnal Ilmiah Telekomunikasi. Kendali Dan Elektronika Terapan*, 7(2), 197-207
- Pandia, W., Sihaloho, N. K., Dahang, D., dan Pintubatu, R. P. (2022). Pengaruh Ukuran Benih Dan Pemakaian Pestisida Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Bawang Merah (*Allium Ascalonicum* L). *Jurnal Agroteknosains*, 6(2), 114–123.
- Pangestika, M., Hohary, M., Agus, Y. H., Widyawati, N., Herawati, M. M., Sutrisno, A. J., Handoko, Y. A., Simamora, L., Zebua, D. D. N., dan Nadapdap, H. J. (2020). *Smart Farming: Pertanian di Era Revolusi Industri 4.0*. Penerbit Andi. Yogyakarta, 47.
- Placidi, P., Gasperini, L., Grassi, A., Cecconi, M., dan Scorzoni, A. (2020). Characterization of low-cost capacitive soil moisture sensors for IoT networks. *Sensors*, 20(12), 3585.
- Pratama, S. R., dan Hardani, D. N. K. (2021). Rancang bangun sistem monitoring kelembaban dan suhu tanah untuk tanaman bawang merah di Kabupaten Brebes. *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, 3(2), 91–100.
- Pratami, I. I. (2018). Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Varietas Bawang Merah Pada Lahan Berbatu (Litosol) Menggunakan Metode SAW (Simple Additive Weighting) DI. *Skripsi*, 1–69.
- Purbawanto, S. (2020). *Media Transmisi Telekomunikasi*. Deepublish, 36.
- Putra, A. S., dan Rahayu, M. S. (2021). Scan Rfid Untuk Pembuka Pintu Otomatis Berbasis Arduino. *Seminar Nasional Informatika (SENATIKA)*, 355–359.
- Putra, G. S. A., Nabila, A., dan Pulungan, A. B. (2020). Power Supply Variabel Berbasis Arduino. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 1(2), 139–143.

- Ratnakumari, K., dan Koteswari, S. (2020). Design dan implementation of innovative IoT based smart agriculture management system for efficient crop growth. *Journal of Engineering Sciences*, 11(7), 607–616.
- Reddy, V., Basha, S. H., Reddy, C. P., Babu, T. H., Kumar, S. V., dan Kumar, K. S. (2023). Plant Growth Prediction using IoT. *Journal of Engineering Sciences*, 14(05), 171-177.
- Riska, R. J. (2021). Otomatisasi Penyiraman Tanaman Dengan Sensor Soil Moisture. *Jurnal Portal Data*, 1(2), 1-12.
- Riskiono, S. D., Pamungkas, R. H. S., dan Arya, Y. (2020). Rancang Bangun Sistem Penyiraman Tanaman Sayur Berbasis Arduino Dengan Sensor Kelembaban Tanah. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kendali Dan Listrik*, 1(1), 23–32.
- Roby, F., dan Junadhi, J. (2019). Sistem kontrol intensitas cahaya, suhu dan kelembaban udara pada greenhouse berbasis raspberry PI. *JTIS*, 2(1), 30-37.
- Rosalinda, R. (2022). Rancang Bangun Mekanisme Off Motor Bensin Penggerak Pompa Irigasi Sprinkler secara Otomatis pada Tanaman Bawang Merah (*Allium Ascalonicum L*) di Kabupaten Enrekang= Design and Build Mechanism of Automatic Gasoline Motor Driven Irrigation Sprinkler Pump on Shallot (*Allium Ascalonicum L*) Plant in Enrekang Regency [PhD Thesis, Universitas Hasanuddin].
- Rosna, R., Kesumawati, E., dan Marliah, A. (2021). Pertumbuhan dan Hasil Beberapa Varietas Bawang Merah (*Allium ascalonicum L.*) akibat Pemberian Dosis Pupuk NPK Phonska di Dataran Tinggi Gayo Lues. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 6(4), 872–880.
- Rusito, R. (2021). Teknologi Internet: Dasar Internet Teknologi IoT (Internet of Thing) dan Bahasa HTML. *Penerbit Yayasan Prima Agus Teknik*, 1–150.
- Rustan, M. F., dan Mansur, M. F. (2020). Implementasi penyiraman otomatis tanaman bawang merah berbasis mikrokontroler. *Journal of Computer and Information System (J-CIS)*, 3(1), 37–44.
- Ruwaida, R., Nasution, I. S., dan Satriyo, P. (2021). Penerapan Sistem Irigasi Curah (Sprinkler) Pada Tanaman Bawang Merah (*Allium Cepa L.*) Berbasis Mikrokontroler ATmega328. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 6(2), 57–68.
- Saad, M. I. 2020. *Otodidak Web Programming: Membuat Website Edutainment*. Elex Media Komputindo, 22.

- Sabilau, O. G., Taryana, D., dan Masitoh, F. (2021). Analisis kebutuhan air irigasi lahan pertanian Desa Pajaran Kecamatan Poncokusumo menggunakan Cropwat 8.0. *Jurnal Integrasi Dan Harmoni Inovatif Ilmu-Ilmu Sosial*, 1(9), 988–1003.
- Sabrina, I. A. N. (2023). Pemanfaatan Konversi Listrik Direct Current Menjadi Alternating Current Pada Sepeda Statis Penghasil Energi Listrik Dengan Sistem Monitoring Dan Deteksi Undervoltage Berbasis Internet Of Things (IOT) [PhD Thesis, Universitas Diponegoro].
- Saragih, E. S., Supriyatno, R., Mado, F., Hauoni, K., Supadi, H., Sitepu, R. B., dan Elfajrin, A. (2018). *Di atas tanah berbatu dan lahan kering kami bertanam sayuran*. Penerbit Swadaya. Jakarta.
- Sari, K., dan Sulaeman, B. (2020). Analisis Kebutuhan Air Irigasi Pada Jaringan Sekunder Di Kota Palopo. *PENA TEKNIK: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 5(2), 82–90.
- Sarwansah, R., Jaelani, U., Hasad, A., Supratno, S., dan Sugeng, S. (2022). Aplikasi NodeMCU ESP8266 Untuk Monitoring Kelembaban Tanah Berbasis Internet of Things. *Journal of Students 'Research in Computer Science*, 3(1), 63–72.
- Sasmita, E. R., dan Haryanto, D. (2021). *Ragam Media Tanam Tanah dan Non Tanah*. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat UPNVYK. Yogyakarta, 6-8.
- Selay, A., Andigha, G. D., Alfarizi, A., Wahyudi, M. I. B., Falah, M. N., Khaira, M., dan Encep, M. (2022). Internet Of Things. *Karimah Tauhid*, 1(6), 860–868.
- Sembiring, I. G. P., Ritonga, A. A., dan Yulfitra, Y. (2024). Pemanfaatan Panel Surya Untuk Pompa Air Dengan Tenaga Matahari. *Madani: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 2(2), 164-171.
- Setiadi, D., dan Muhaemin, M. N. A. (2018). Penerapan internet of things (IOT) pada sistem monitoring irigasi (Smart Irigasi). *Infotronik: Jurnal Teknologi Informasi Dan Elektronika*, 3(2), 95–102.
- Setyawan, D. Y., Nurfiana, N., Rosmalia, L., dan Setiawati, M. G. (2024). Analisis Perbandingan dan Karakterisasi Sensor Kelembaban Tanah Jenis Kapasitif dengan Jenis Resistif pada Objek Penginderaan yang Sama. *TEKNIKA: Jurnal Ilmiah Bidang Ilmu Rekayasa*, 18(1), 47–54.
- Setyawan, D. Y., Yuliawati, D., Warsito, W., dan Warsono, W. 2018. Calibration of geomagnetic and soil temperatur sensor for earthquake early warning

- system. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 16(5), 2239-2244
- Sijabat, W., Ishak, I., dan Murniyanti, S. (2022). Rancang Automatic Sprinkler Pada Tanaman Bawang Menggunakan Teknik PWM Berbasis Arduino. *Jurnal Sistem Komputer Triguna Dharma (JURSIK TGD)*, 1(1), 34–41.
- Siswanto, S., Nurhadiyan, T., dan Junaedi, M. (2020). Prototype Smart Home Dengan Konsep Iot (Internet of Thing) Berbasis Nodemcu Dan Telegram. *Jurnal Sistem Informasi Dan Informatika (Simika)*, 3(1), 85–93.
- Soraya, S. N., Jumarang, M. I., dan Muliadi, M. (2020). Kajian Tingkat Kenyamanan Berdasarkan Suhu Udara, Kelembaban OLR (Outgoing Longwave Radiation) dan Angin. *Prisma Fisika*, 8(2), 147–152.
- Sumaedi, A. (2023). Mikrokontroler, Arduino, Raindro Prototipe Deteksi Hujan Berbasis Arduino Uno Menggunakan Rain Drop Sensor Module. *Jurnal Teknik Informatika*, 9(1), 20–26.
- Suranata, I. W. A., dan Prathama, I. G. H. (2021). Arsitektur Moisture Meter dengan Capacitive Sensing dan Serverless IoT untuk Hidroponik Fertigasi. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi)*, 5(2), 292–300.
- Suryana, T. (2021). Implementasi Raindrops Sensor Untuk Peringatan Terjadinya Hujan Dan Menutup Jemuran Otomatis. *Jurnal Komputa Unikom*, 1-7.
- Syafaat, M., Ramadhan, A. N., Syafiun, R. B., dan Haerunnisa, D. A. (2023). IoT-Based Smart Garden Using MQTT Protocol With Adafruit IO APP. *Jurnal Teknik Informatika (Jutif)*, 4(4), 723–732.
- Telaumbanua, M. (2021). *Buku Ajar Pengantar Teknologi Instrumentasi Teknik Pertanian*. Penerbit NEM. Pekalongan,15.
- Saad, M. I. 2020. *Otodidak Web Programming: Membuat Website Edutainment*. Elex Media Komputindo, 22.
- Tumpa, S. A., Fahim, M. A. I., Rahman, M., dan Newaz, M. K. (2023). Iot and artificial intelligence based smart gardening and irrigation system. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 5, 8997–9005.
- Vogel, B., Dong, Y., Emruli, B., Davidsson, P., dan Spalazzese, R. (2020). What is an open IoT platform? Insights from a systematic mapping study. *Future Internet*, 12(4), 73.
- Vom Dorp, J., Berberich, S. E., Erlbacher, T., Bauer, A. J., Ryssel, H., dan Frey, L. (2011). Monolithic RC-snubber for power electronic applications. *2011*

IEEE Ninth International Conference on Power Electronics and Drive Systems, 11–14.

- Wahyudi, T. (2020). *Pengelolaan komoditas hortikultura unggulan berbasis lingkungan*. Forum pemuda Aswaja. Praya Lombok Tengah 28-29.
- Wati, D. A. R. (2020). Otomatisasi Penyiraman Tanaman Bawang Merah Dengan Metode Irigasi Kabut Berbasis ARDUINO dan IOT. *Skripsi*. UIN Yogyakarta.
- Wayangkau, I. H., Mekiuw, Y., Rachmat, R., Suwarjono, S., dan Hariyanto, H. (2020). Utilization of IoT for soil moisture and temperature monitoring system for onion growth. *Emerging Science Journal*, 4, 102–115.
- Wibowo, H. S. (2023). *Belajar HTML untuk Pemula: Panduan Lengkap untuk Membuat Halaman Web yang Menarik*. Pesona Bahasa. Jakarta, 11.
- Widiasmadi, N. (2023). Sistem Agro Konservasi Smart Biosoildam untuk Peningkatan Daya Dukung Tanah Litosol. *Journal on Education*, 5(3), 9869–9879.
- Widyatmika, I., Indrawati, N. P. A. W., Prastya, I., Darminta, I. K., Sangka, I., dan Sapteka, A. A. N. G. (2021). Perbandingan Kinerja Arduino Uno dan ESP32 Terhadap Pengukuran Arus dan Tegangan. *Jurnal Otomasi Kontrol Dan Instrumentasi*, 13(1), 35–47.
- Xu, M., Yang, X., dan Li, J. (2022). C-RC snubber optimization design for improving switching characteristics of SiC MOSFET. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 37(10), 12005–12016.