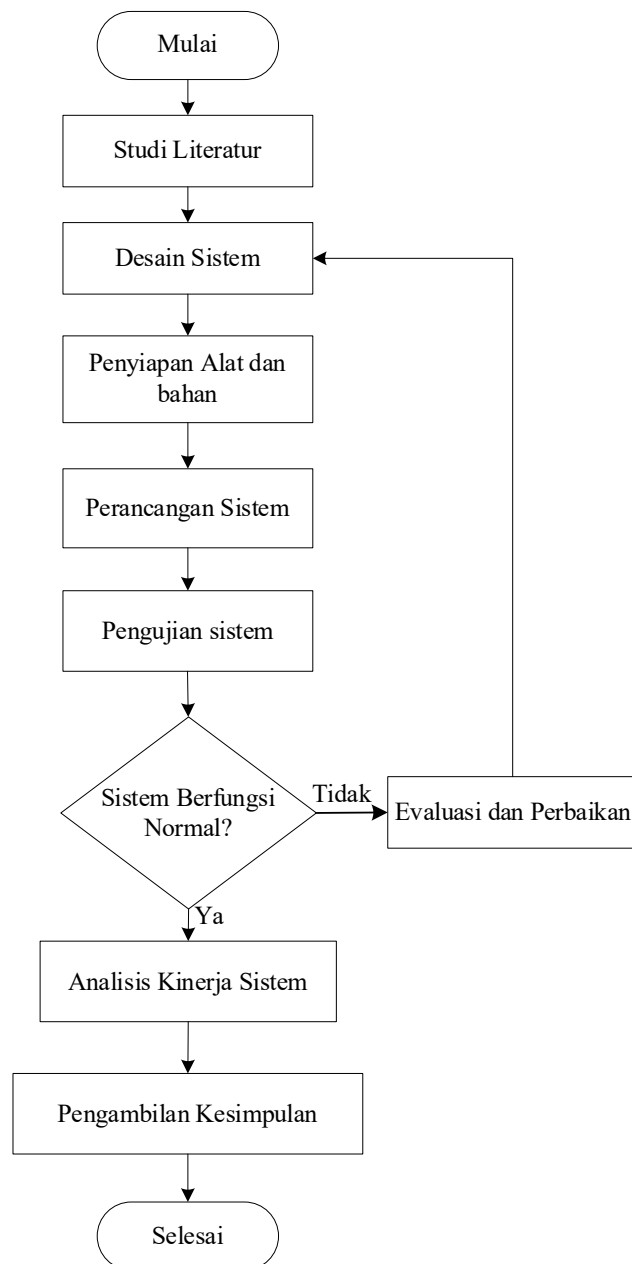


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 *Flowchart* Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap, pada setiap tahapan penelitian ini disajikan pada diagram alur penelitian.



Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

Gambar 3.1 merupakan flowchart dari penelitian yang akan dilaksanakan. Perancangan sistem dibuat dan digambar dengan dengan flowchart yang menunjukkan setiap proses yang dilakukan dalam perancangan sistem *precision farming*.

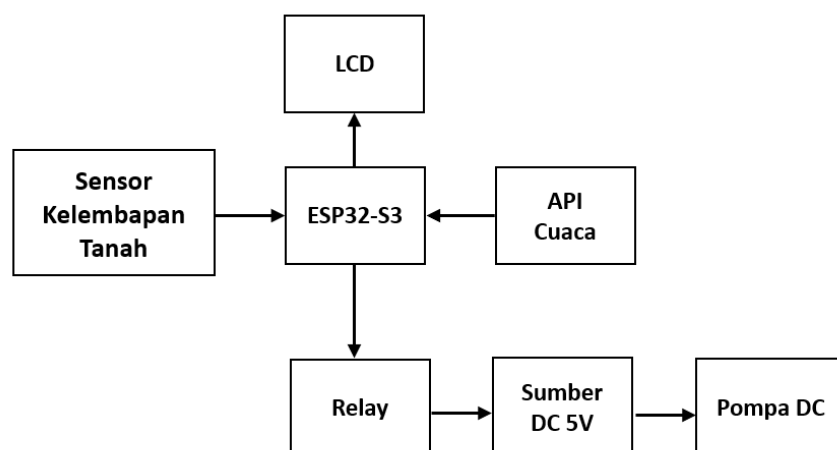
3.1.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari berbagai referensi terkait dengan penelitian yang akan dilakukan. Referensi dapat berupa jurnal, artikel ilmiah, buku, atau lainnya yang mendukung penelitian dan penulisan tugas akhir ini.

3.1.2 Desain Sistem

Yaitu proses perancangan sistem *precision farming* berbasis *IoT* yang akan dibuat mulai dari pembuatan blok diagram sistem dan wiring setiap komponen. Berikut adalah gambar rancangan sistem yang akan dibuat.

3.1.2.1 Blok Diagram



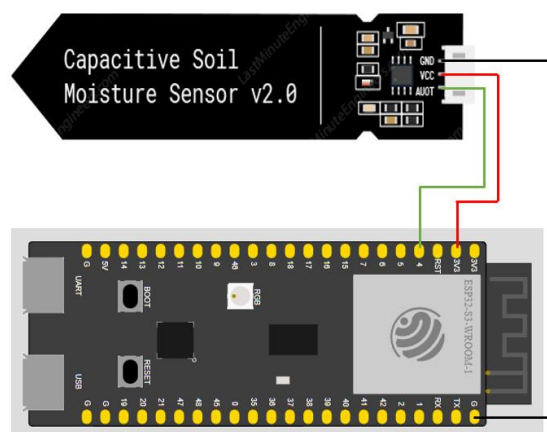
Gambar 3. 2 Blok diagram sistem

Gambar 3.2 menunjukkan secara keseluruhan sistem yang dirancang. Sistem terdiri dari ESP32-S3, Sensor *Capacitive Soil Moisture*, Data Probabilitas curah

hujan dari API cuaca, Relay, Sumber DC 5V, Pompa DC. Sensor *Capacitive Soil Moisture* berfungsi untuk mengukur kadar air yang terdapat didalam media uji (tanah). API OpenWheaterMap sebagai penyedia data layanan cuaca yang bisa didapatkan secara *free tier*. Relay melakukan fungsi sebagai swith ON/OFF dan juga sebagai pelindung jika terjadi korsleting pada pompa DC, agar tidak merambat dan membakar *Chip* ESP32-S3. Sumber DC 5V sebagai suplai tegangan untuk menggerakan pompa DC. Pompa DC bertugas untuk mengalirkan air dari tanki penyimpanan air ke tanaman. ESP32-S3 berfungsi sebagai pemroses data status kelembaban tanah yang dibaca oleh sensor *Capacitive Soil Moisture*, dan data probabilitas curah hujan yang dikirim oleh API OpenWheaterMap. Hasil dari proses pengolahan data berupa perintah untuk menyalakan atau mematikan pompa. Data-data dari sensor dan API cuaca akan ditampilkan pada layer LCD agar dapat dipantau oleh pengguna.

3.1.2.2 Wiring Setiap Kompoenen dan Sistem

a. Wiring diagram sensor *Capacitive Soil Moisture*



Gambar 3. 3 *Wiring diagram sensor Capacitive Soil Moisture*

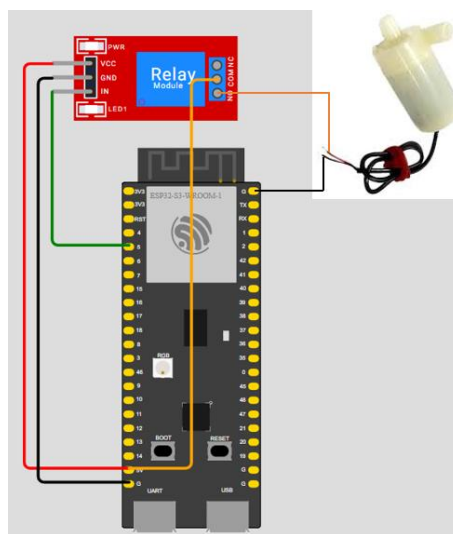
Gambar 3.3 Merupakan *wiring* diagram dari pemasangan sensor *Capacitive Soil Moisture* yang dihubungkan ke ESP32-S3. Fungsi dari sensor ini adalah untuk mengukur persentase kadar air yang tersedia didalam tanah uji.

Tabel 3. 1 Konfigurasi I/O ESP32-S3 dengan Sensor *Capacitive Soil Moisture*

ESP32-S3	Sensor <i>Capacitive Soil Moisture</i>
Pin 3,3V	Pin VCC
Pin 4	Pin AOut
Pin GND	Pin GND

Tabel 3.1 menunjukan konfigurasi input dan output untuk pengujian Sensor Capacitive soil Moisture dengan ESP32-S3.

b. *Wiring* diagram Relay, Pompa DC



Gambar 3. 4 *Wiring* diagram Relay, Pompa DC

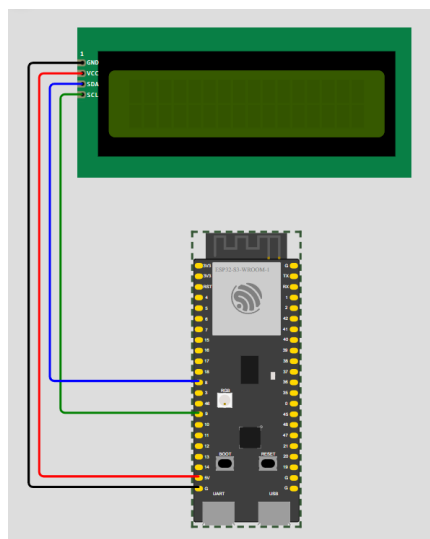
Gambar 3.4 Merupakan *wiring* diagram dari Relay, Pompa DC yang dihubungkan dengan ESP32-S3. Hasil dari pemrosesan data berupa perintah untuk mematikan atau menyalakan Pompa DC untuk mengalirkan air dari tanki air ke tanaman.

Tabel 3. 2 Konfigurasi I/O relay, pompa Dc, dan ESP32-S3

Relay Ke ESP32-S3	
Pin VCC	Pin 5V
Pin GND	Pin GND
Pin IN	Pin 5
Pompa DC ke Relay, Sumber DC	
Kutub + Pompa DC	Pin NO Relay
Kutub – Pompa DC	Kutub - Sumber DC 5V
Pin COM Relay	Kutub + Sumber DC 5V

Tabel 3.2 merupakan Konfigurasi input dan output yang digunakan pada saat pengujian Pompa DC dan relay yang dikendalikan oleh ESP32-S3.

c. *Wiring* diagram LCD

**Gambar 3. 5** *Wiring* diagram pengujian LCD

Gambar 3.5 Merupakan wiring layer LCD dengan ESP32-S3. LCD ini berfungsi untuk menampilkan data hasil proses dari ESP32-S3 agar dapat dilihat oleh pengguna.

Tabel 3. 3 Konfigurasi I/O LCD dengan ESP32-S3

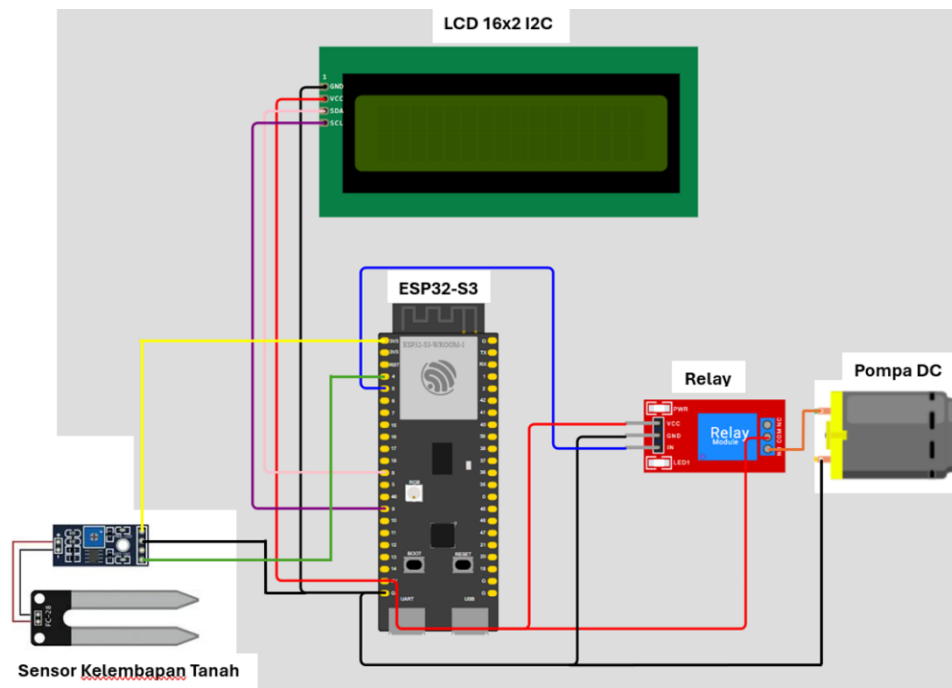
LCD	ESP32-S3
Pin VCC	Pin 5V
Pin GND	Pin GND

Pin SDA	Pin 8
Pin SCL	Pin 9

Tabel 3.3 merupakan konfigurasi input dan output LCD dan ESP32-S3 yang

digunakan untuk pengujian LCD.

d. Wiring sistem keseluruhan



Gambar 3. 6 Wiring sistem keseluruhan

Gambar 3.6 Merupakan wiring dari prototipe sistem precision farming berbasis IoT. Konfigurasi pin I/O merupakan gabungan dari setiap konfigurasi pada pembahasan sebelumnya, yang disajikan pada tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Konfigurasi I/O antar komponen secara keseluruhan

ESP32-S3	Sensor <i>Capacitive Soil Moisture</i>
Pin 3,3V	Pin VCC
Pin 4	Pin AOut
Pin GND	Pin GND
	Relay Ke ESP32-S3
Pin VCC	Pin 5V
Pin GND	Pin GND

Pin IN	Pin 5
Pompa DC ke Relay, Sumber DC	
Kutub + Pompa DC	Pin NO Relay
Kutub – Pompa DC	Kutub - Sumber DC 5V
Pin COM Relay	Kutub + Sumber DC 5V
LCD	ESP32-S3
Pin VCC	Pin 5V
Pin GND	Pin GND
Pin SDA	Pin 8
Pin SCL	Pin 9

3.1.3 Analisis kebutuhan sistem

Analisis ini bertujuan untuk mendefinisikan perilaku operasional dari sistem penyiraman cerdas yang dirancang, serta batasan-batasan teknis yang mengikat kinerjanya.

3.1.3.1 Kebutuhan Fungsional

Kebutuhan fungsional adalah spesifikasi tentang apa yang harus mampu dilakukan oleh sistem. Sistem yang dirancang harus memenuhi kriteria berikut:

1. Sistem harus mampu mengukur persentase kelembaban tanah secara *real-time* dan mengonversi nilai analog tersebut menjadi data digital (0% hingga 100%).
2. Sistem harus mampu terhubung ke jaringan internet nirkabel (Wi-Fi) secara mandiri.
3. Sistem harus mampu mengirim permintaan HTTP GET ke *endpoint* API OpenWeatherMap dan menerima respons berupa struktur data JSON.
4. Sistem harus mampu mengekstrak (parsing) parameter *Probability of Precipitation* (Probabilitas Curah Hujan) dari data JSON yang diterima.

5. Sistem harus mampu mengeksekusi logika fusi data: menyalakan pompa saat tanah kering dan cuaca cerah, serta mematikan (atau menahan) pompa saat tanah basah atau API memprediksi hujan akan turun.

3.1.3.2 Kebutuhan Non-Fungsional

Kebutuhan non-fungsional adalah spesifikasi terkait kualitas, performa, dan batasan lingkungan sistem:

1. **Ketersediaan Jaringan:** Sistem sangat bergantung pada ketersediaan sinyal Wi-Fi 2.4 GHz dan koneksi internet yang stabil untuk mengakses API cuaca.
2. **Efisiensi API:** Sistem harus melakukan penarikan data API dengan jeda waktu tertentu (misalnya setiap 15 menit) untuk menghindari pemblokiran akibat melebihi batas permintaan gratis (*rate-limit*) dari server OpenWeatherMap.
3. **Ketahanan Lingkungan:** Sensor fisik yang bersentuhan dengan tanah harus memiliki sifat tahan korosi (*anti-corrosion*) agar sistem dapat beroperasi dalam jangka panjang tanpa degradasi pembacaan.

3.1.3.3 Analisis kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak

Untuk merealisasikan fungsi-fungsi yang telah dijabarkan, diperlukan komponen fisik dan program pendukung sebagai berikut:

A. Kebutuhan Perangkat Keras

- **Mikrokontroler ESP32-S3:** Berfungsi sebagai unit pemrosesan utama (*edge node*). Dipilih karena memiliki prosesor *dual-core*

berkinerja tinggi, memori SRAM yang cukup untuk *parsing* JSON, serta modul Wi-Fi terintegrasi.

- **Capacitive Soil Moisture Sensor (v1.2):** Berfungsi sebagai transduser untuk membaca kadar air dalam tanah melalui prinsip perubahan kapasitansi dielektrik, menggantikan sensor resistif yang mudah berkarat.
- **Modul Relay 1-Channel (5V DC):** Berfungsi sebagai sakelar elektromagnetik untuk mengalirkan dan memutus arus listrik berdaya lebih besar menuju aktuator, berdasarkan sinyal digital (HIGH/LOW) dari ESP32-S3.
- **Pompa Air Mini DC (*Submersible Pump*):** Berfungsi sebagai aktuator yang mengeksekusi proses penyiraman dengan mengalirkan air dari tandon air menuju *planter box* (wadah tanaman uji).
- **Catu Daya (*Power Supply*):** Adaptor DC 5V/1A atau modul *step-down* untuk memberikan pasokan daya yang stabil bagi ESP32-S3, sensor, relay, dan pompa air secara bersamaan.
- **Wadah Pengujian (*Planter Box*):** Skala purwarupa wadah tanaman berskala kecil yang diisi tanah sebagai media pengujian fisik sistem.

B. Kebutuhan perangkat lunak

1. **Arduino IDE (Integrated Development Environment):** Perangkat lunak yang digunakan sebagai *editor* teks dan *compiler* untuk menulis kode program bahasa C/C++ dan mengunggahnya (*flashing*) ke dalam *board* ESP32-S3.

2. **Library ArduinoJson (oleh Benoit Blanchon):** Pustaka esensial yang ditambahkan pada Arduino IDE untuk menyederhanakan proses serialisasi dan deserialisasi data biner JSON dari server web ke dalam variabel C++ secara efisien.
3. **Library WiFi.h dan HTTPClient.h:** Pustaka bawaan inti (*core library*) dari Espressif untuk menangani negosiasi koneksi nirkabel dan protokol *request/response* HTTP.
4. **API Key OpenWeatherMap:** Kunci autentikasi berupa deretan *string* alfanumerik (diperoleh dengan mendaftar akun *Free Tier* di situs OpenWeatherMap) yang wajib disisipkan ke dalam URL saat mikrokontroler meminta data cuaca.
5. **Wireshark :** perangkat lunak untuk menganalisis protokol jaringan, Merekam data yang lalu lalang di jaringan secara *real-time*, baik dari Wi-Fi maupun kabel Ethernet, Membuka paket data untuk melihat informasi di dalamnya, mulai dari alamat IP pengirim/penerima, jenis protokol, hingga isi pesan (jika tidak dienkripsi).

3.1.4 Perancangan Sistem

Sistem ini terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak yang saling berhubungan, berikut merupakan perencanaannya :

3.1.4.1 Perancangan *Hardware* (Perangkat Keras)

Sistem Pertanian cerdas ini dirancang menggunakan arsitektur blok yang terdiri dari:

1. **Blok Input (Sensor & Jaringan):**

- *Capacitive Soil Moisture Sensor v1.2* dihubungkan ke pin *Analog-to-Digital Converter* (ADC) ESP32-S3 untuk membaca tingkat kelembaban tanah aktual (0-100%).
- Modul Wi-Fi internal ESP32-S3 bertindak sebagai input data awan untuk menerima respons prediksi API cuaca.

2. Blok Proses (Mikrokontroller):

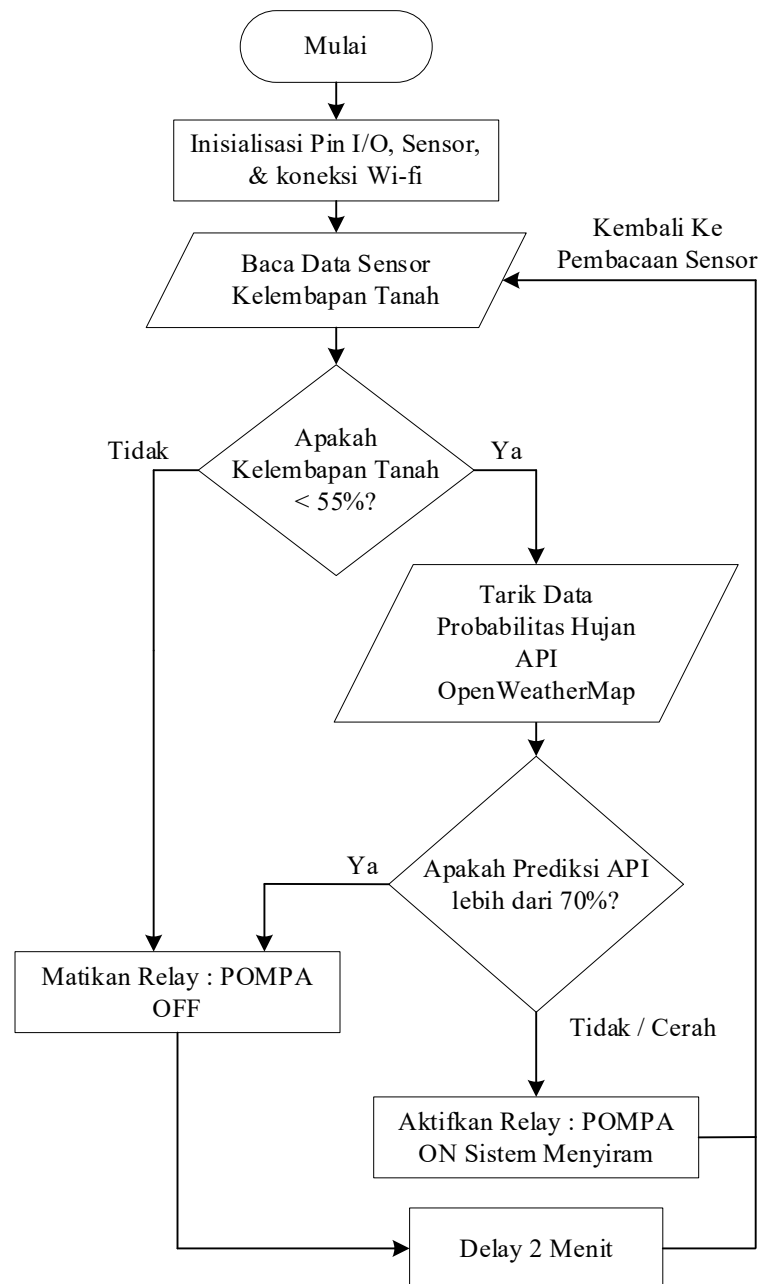
- Modul **ESP32-S3** bertindak sebagai otak komputasi. Tugasnya adalah mengonversi nilai analog sensor, mengirim *HTTP GET Request* ke server API OpenWeatherMap, memarsing data JSON menggunakan pustaka *ArduinoJson*, dan mengeksekusi matriks keputusan.

3. Blok Output (Aktuator) :

- Modul Relay 1-Channel (*Active-Low / Active-High*) yang dihubungkan ke pin *Digital Output* ESP32-S3 untuk mengendalikan Pompa Air DC.

3.1.4.2 Perancangan *Software* (Perangkat Lunak)

Perangkat lunak dirancang dengan logika fusi data (*data fusion*) yang beroperasi dalam siklus waktu tertentu (dieksekusi setiap 2 menit). Algoritma pengambilan keputusan dirancang berdasarkan matriks berikut:



Gambar 3. 7 Flowchart Pengambilan Keputusan (Fusi data)

Gambar 3.7 Merupakan alur proses kerja dari sistem penyiraman cerdas.

1. Inisialisasi Ambang Batas:

Tabel 3. 5 Standar kelembaban tanah Tanaman Bahan Pangan

No	Nama	Suhu Udara (°)	Kelembaban Tanah (%)	Keterangan

1	Jagung, Padi	27-32	86-100	Jenis sayuran ini dapat dipanen pada Umur 2 - 3 Bulan, Pupuk Kandang 200 kg/Ha, Hama Belalang, Ulat Grayak, Karat putih, Bercak daun
2	Terong, Tomat	22-30	80 – 85	Jenis sayuran ini dapat dipanen pada Umur 70 – 80 hari, Pupuk KCI 45 kg/Ha, Hama kutu daun, Ulat Tanah, Ulat Buah, Bercak daun, Bekicot
3	Kacang hijau, sawi Putih	18-35	75 – 79	Jenis sayuran ini dapat dipanen pada Umur 2 Bulan, Pupuk LMGA AGRO 3 ton /Ha dan Kapur Dolomit 1,5 Ton/Ha, Hama kutu daun, Ulat buah, Karat putih, Bercak daun
4	Kecipir, Waluh	10-32	70 – 74	Jenis sayuran ini dapat dipanen pada Umur 3 Bulan, Pupuk Kandang 1 ton /Ha dan Kapur Dolomit 1 Ton/Ha, Hama Ulat Keket,
5	Brokoli, Buncis, Kubis, Seledri	10-22	65 – 69	Jenis sayuran ini dapat dipanen pada Umur 45 - 50 Hari, Pupuk Kandang 300 kg, Arang Sekam 100 kg Dedak 50 Kg, Molase 250 CC untuk per Ha, Hama Ulat Daun, Ulat tanah. Kutu Daun.
6	Selada, Pare, Gambas, Kacang Panjang	21-30	60 – 64	Jenis sayuran ini dapat dipanen pada Umur 40 - 45 Hari, Pupuk Kandang 230 kg per Ha, Hama Ulat Daun, Ulat tanah. Trips, Tangek
7	Cabai	15-25	55 – 59	Jenis sayuran ini dapat dipanen pada Umur 80 Hari,

				Pupuk Kandang 500 kg /Ha dan Pupuk Kalium 100 kg per Ha, Hama Ulat Grayak, Ulat tanah. Kutu kebul
8	Bawang merah dan putih	25-32	50 – 54	Jenis sayuran ini dapat dipanen pada Umur 60 - 80 Hari, Pupuk NPK Mutiara 500 kg, SP 36 100 kg per Ha, Hama Ulat Grayak, Ulat tanah
9	Singkong	32 – 42	45 – 49	Jenis sayuran ini dapat dipanen pada Umur 6 - 8 Bulan, Pupuk Dolomit 300 kg/Ha, Hama hawar bakteri,Ulat tanah
10	Ubi, kentang	33 – 53	40 – 45	Jenis sayuran ini dapat dipanen pada Umur 2 - 3 Bulan, Pupuk SP 36 100 kg per Ha, Hama kumbang cylas, Ulat tanah.
11	Gambas	27 – 43	35 – 39	Jenis sayuran ini dapat dipanen pada Umur 1 Bulan, Pupuk NPK Mutiara 250 kg, SP 36 100 kg, KCL 75 kg per Ha, Hama Ulat Grayak, ulat Daun,.
12	Kemiri, merica	28 – 42	30 – 34	Jenis sayuran ini dapat dipanen pada Umur 2 – 3 Tahun, Pupuk Kandang 100kg /Ha, NPK Mutiara 550 kg/Ha, Hama Ulat Grayak, kutu Daun,
13	Kangkung, Bayam, Sawi, Timun, Ketumbar	31 – 40	25 – 29	Jenis sayuran ini dapat dipanen pada Umur 27 hari, Pupuk kandang 150 kg /Ha, Hama, Ulat Buah,Cacing tanah, Bercak Daun
14	Paprika	38 – 54	20 – 24	Jenis sayuran ini dapat dipanen pada Umur 5 Bulan, Pupuk NPK Mutiara 300 kg, SP 36 150 kg, KCL 95 kg per Ha, Hama Ulat Grayak,Ulat buah

15	Kacang Tanah, wortel	36 – 50	15 – 19	Jenis sayuran ini dapat dipanen pada Umur 3 Bulan, Pupuk Akar 1 Ton/Ha, Pupuk Kalium 300 kg/Ha, Hama Ulat Grayak, cacing tanah,
16	Labu, Lobak	25 – 38	10 – 14	Jenis sayuran ini dapat dipanen pada Umur 2 - 3 Bulan, Pupuk Akar 1 Ton/Ha, pupuk kandang 1 ton, KCL 95 kg/Ha, Hama cacing tanah, bekicot
17	Asam jawa, Melinjo, Jengkol, Petai, Lada	35 – 40	5 – 9	Jenis sayuran ini dapat dipanen pada Umur 4- 5 Tahun, Pupuk Kandang 2 ton/Ha, Kalium 1 Ton/Ha, Hama Ulat Grayak,

Tabel 3.5 merupakan batas kelembaban kritis tanah berdasarkan data dari penelitian yang dilakukan oleh Asop et al (2022).

2. Penelitian ini melakukan uji pada tanaman Cabai yang ambang batas kelembaban kritis nya di kisaran 55 % – 59 % (pada saat tanah: < 55% = Kering, > 59 % = Basah) dan batas probabilitas hujan API (> 70% = Akan Hujan).
3. **Penarikan Data (*Data Fetching*):** ESP32-S3 membaca sensor lokal dan memanggil data API cuaca.
4. Matriks Keputusan (*Decision Matrix*):
 - **KONDISI 1: JIKA** Tanah Kering **DAN** Probabilitas Hujan API Rendah → ESP32-S3 menyalakan Relay → **Pompa ON**.
 - **KONDISI 2 (Fungsi Prediktif): JIKA** Tanah Kering **DAN** Probabilitas Hujan API Tinggi → ESP32-S3 mematikan Relay → **Pompa OFF** (Sistem membiarkan alam/hujan yang menyiram).

- **KONDISI 3 (Fungsi Preventif): JIKA Tanah Basah → Pompa OFF**
(Terlepas dari apapun prediksi cuaca API, untuk mencegah *overwatering*).

3.1.5 Skenario Pengujian Sistem

Untuk memvalidasi bahwa purwarupa beroperasi sesuai dengan spesifikasi yang dirancang, dilakukan pengujian fungsional terstruktur dengan pendekatan *Black-Box Testing*. Parameter pengujian berfokus pada respons sistem terhadap manipulasi lingkungan fisik dan respons data komputasi awan.

Tabel 3. 6 Skenario Pengujian Sistem

No	Jenis Pengujian	Skenario / Perlakuan yang Diberikan	Hasil yang Diharapkan
1	Kalibrasi Sensor Tanah	Melakukan Uji Komparatif, dilakukan dengan membandingkan nilai pembacaan sensor terhadap alat ukur yang standar.	Nilai ADC dapat dipetakan secara akurat ke dalam persentase 0% - 100% sesuai dengan alat ukur yang standar dan terkalibrasi.
2	Konektivitas dan Pemrosesan API	ESP32-S3 dihubungkan ke jaringan Wi-Fi lokal, kemudian mengirim HTTP <i>GET Request</i> ke OpenWeatherMap.	Serial Monitor menampilkan HTTP <i>Response Code</i> 200 dan berhasil mengekstrak parameter probabilitas hujan (POP) dari JSON.
3	Logika Normal (Tanah Kering & Cerah)	Sensor diangkat dari tanah (simulasi kering <55%). Parameter API dimanipulasi/ditunggu pada kondisi cerah (POP <70%).	Mikrokontroler mengirim sinyal aktif ke relay; Pompa Air Menyala (ON).

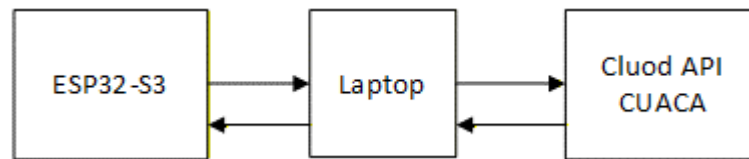
4	Logika Prediktif (Tanah Kering & Hujan)	Sensor diangkat dari tanah (simulasi kering <55%). Parameter API memprediksi hujan lebat (POP >70%).	Mikrokontroler menahan sinyal relay; Pompa Air Tetap Mati (OFF). (Fungsi penghematan berhasil).
5	Logika Preventif (Tanah Basah)	Sensor ditancapkan pada tanah jenuh air (simulasi basah >60%). Parameter cuaca cerah maupun hujan.	Mikrokontroler memutus sinyal relay; Pompa Air Mati (OFF). (Fungsi pencegahan <i>overwatering</i> berhasil).
6	Uji Ketahanan Jaringan (Fail-Safe)	Jaringan Wi-Fi dimatikan (koneksi terputus ke API OpenWeatherMap), dan tanah dalam kondisi kering.	Sistem fallback ke mode konvensional: Pompa Air Menyala (ON) berdasarkan data sensor lokal saja hingga batas basah tercapai.

Tabel 3.6 menjelaskan bagaimana skenario pengujian yang akan dilakukan.

3.1.6 Analisa Kinerja Sistem

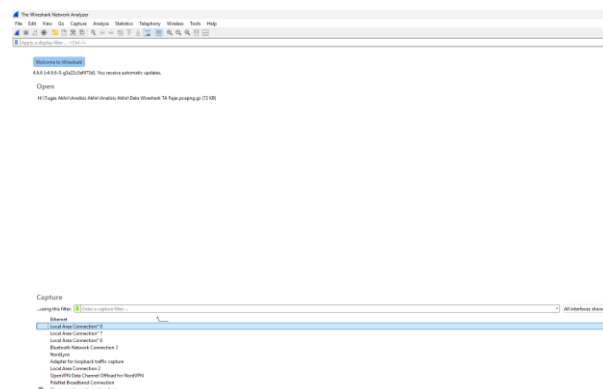
Analisa kinerja sistem meliputi proses pengolahan data yang telah didapat dari pengujian. Setelah melakukan pengujian unit dan integrasi, dilakukan analisis mendalam terhadap kinerja sistem penyiraman cerdas berbasis ESP32-S3. Analisis ini mencakup aspek kecepatan respons jaringan, stabilitas daya saat aktuator aktif, dan akurasi logika fusi data.

3.1.7 Skenario pengujian *Quality of Service (QoS)*



Gambar 3. 8 Skema diagram jalur komunikasi ESP32 dan API cuaca

Gambar 3.8 merupakan jalur komunikasi ESP32-S3 dengan Server API Cuaca, Laptop sebagai *Mobile Hotspot* untuk internet ESP32-S3, Agar wireshark di Laptop dapat merekam paket yang dikirim dan diterima ESP32-S3. Pengujian QoS dilakukan untuk memperoleh data kuantitatif mengenai kualitas jaringan nirkabel saat perangkat ESP32-S3 melakukan penarikan data cuaca dari server OpenWheaterMap.



Gambar 3. 9 Tampilan halaman utama aplikasi *Wireshark*

Gambar 3.9 Merupakan tampilan halaman utama *Wireshark*. Pengujian ini menggunakan observasi langsung (live Capture) terhadap lalu lintas paket data menggunakan perangkat lunak penganalisis jaringan, yaitu wireshark.

Untuk memastikan validitas statistik, pengambilan data dilakukan sebanyak 30 kali siklus permintaan data (*request*) pada rentang waktu operasional alat. Berikut adalah tahapan sistematis dalam pelaksanaan pengujian QoS:

1. Konfigurasi jaringan perantara (Gateway)

Pengujian dimulai dengan mengaktifkan fitur *Mobile Hotspot* pada laptop yang terhubung ke jaringan internet penyedia layanan (*Internet Service Provider*). Mikrokontroler ESP32-S3 kemudian dikonfigurasi agar terhubung ke *Service Set Identifier* (SSID) dari *hotspot* tersebut. Laptop pada tahap ini berfungsi ganda sebagai *router* lokal sekaligus titik sadap (*sniffing point*).

2. Inisialisasi Perekaman data

Aplikasi Wireshark dijalankan pada laptop perantara. Pada layar antarmuka utama Wireshark, adapter jaringan virtual yang digunakan untuk *Mobile Hotspot* (agar terdeteksi sebagai *Local Area Connection*) dipilih sebagai target pemantauan. Proses perekaman (*capture*) dimulai sebelum perangkat IoT dihidupkan untuk memastikan tidak ada paket awal yang terlewat.

3. Eksekusi Transaksi data API

Mikrokontroler ESP32-S3 diberikan catu daya untuk memulai inisialisasi program utama. Perangkat akan menjalankan protokol HTTP untuk mengirimkan permintaan (*GET Request*) menuju *Application Programming Interface* (API) OpenWeatherMap. Proses dibiarkan berjalan selama beberapa siklus pengambilan data, hingga perangkat berhasil mengekstraksi parameter cuaca (*Probability of Precipitation* / POP) yang dibungkus dalam format *JavaScript Object Notation* (JSON).

4. Isolasi dan filter lalu lintas jaringan

Setelah sampel data dirasa cukup, proses perekaman pada Wireshark dihentikan. Karena laptop menangkap seluruh aktivitas jaringan latar belakang, isolasi data dilakukan menggunakan fitur *Display Filter*. Perintah penyaringan *http* dan *ip.addr == (IP_ESP32)* diterapkan agar layar pengamatan hanya menampilkan paket data historis yang bersumber dari atau menuju perangkat ESP32-S3.

5. Identifikasi parameter metrik QoS

Identifikasi difokuskan pada dua baris komunikasi utama, yaitu paket HTTP GET (permintaan) dan paket HTTP 200 OK (*respons*). Pada tahap ini, analisis nilai dari tiap parameter QoS dilakukan dengan cara:

- **Delay:** Menginspeksi metadata [*Time since request*] pada lapisan *Hypertext Transfer Protocol* dari paket dengan *respons* 200 OK.
- **Jitter :** Mengukur tingkat variasi atau ketidakstabilan interval waktu kedatangan antar-paket data dari satu siklus pengambilan ke siklus berikutnya.
- **Packet Loss:** Memasukkan filter analisis *Transmission Control Protocol* (*tcp.analysis.flags*) untuk mendeteksi keberadaan paket data yang rusak, hilang, atau mengalami proses transmisi ulang (*Retransmission*).
- **Throughput:** Mengakses menu statistik (*I/O Graphs*) pada Wireshark untuk melihat puncak penggunaan *bandwidth* (dalam satuan *bytes/tick*) selama proses fusi data berlangsung.

6. Ekstraksi dan Tabulasi Data

Seluruh baris data paket yang telah diisolasi kemudian diekspor ke dalam format *Comma Separated Values* (.csv). Data mentah tersebut ditabulasi menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel untuk menghitung selisih variasi waktu kedatangan paket (*Jitter*) serta menghitung nilai rata-rata keseluruhan parameter. Hasil akhir dari perhitungan tersebut selanjutnya dibandingkan dengan tabel standarisasi klasifikasi jaringan TIPHON.

3.2 Subjek dan Objek penelitian

3.2.1 Subjek Penelitian

Subjek dalam penelitian ini adalah prototipe sistem penyiraman cerdas berbasis mikrokontroler ESP32-S3 yang terintegrasi dengan sensor kelembaban tanah fisik, modul relay, pompa DC mini, serta sistem penentu keputusan (*decision making*) berbasis fusi data *Application Programming Interface* (API) OpenWeatherMap.

3.2.2 Objek Penelitian

Objek dalam penelitian ini adalah parameter-parameter fungsional dan performa dari sistem penyiraman cerdas yang dirancang. Secara spesifik, objek yang diukur dan dianalisis meliputi:

1. **Nilai Kelembaban Tanah:** Data analog (ADC) dan nilai persentase (0%–100%) yang ditangkap oleh sensor kelembaban tanah.
2. **Probabilitas Hujan (*Probability of Precipitation* / POP):** Data numerik prakiraan cuaca berskala 0.0 sampai 1.0 yang ditarik dari server OpenWeatherMap API.
3. **Kinerja Mekanis Aktuator:** Logika *switching* pada modul relay dan durasi aktif pompa DC mini dalam menyalurkan air.

4. **Kualitas** jaringan internet (**QoS**) yang melayani pertukaran data antara perangkat ESP32-S3 dengan server OpenWeatherMap API.

3.3 Lokasi Pengujian

Pengujian sistem yang telah dirancang secara keseluruhan serta di Laboratorium Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Siliwangi.