

BAB 1

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Tanaman Mawar

Bunga mawar merupakan tanaman hias yang dapat menjadi sumber kebahagiaan bagi banyak orang, terutama yang tinggal di perkotaan. Mawar, yang berasal dari genus *Rosa*, adalah salah satu tanaman hias yang paling digemari karena keindahan dan keharumannya. Mawar memberikan nuansa segar dan alami di rumah, sehingga penting bagi para pecinta tanaman hias untuk merawatnya dengan baik agar tetap tumbuh subur. Salah satu aspek utama dalam perawatan mawar adalah penyiraman yang tepat, karena kualitas tanah dan ketersediaan air sangat mempengaruhi pertumbuhannya.



Gambar 2. 1 Fase Pertumbuhan Mawar Gambar

Air merupakan kebutuhan vital bagi tanaman mawar, dan penyiraman yang tepat berperan penting dalam menjaga kelembapan tanah. Berdasarkan penelitian Cahyatama dkk. (2024), mawar tumbuh optimal pada suhu antara 18°C-28°C dengan tingkat kelembapan tanah yang ideal berkisar antara 70%-80%. Kelembapan yang tepat akan mendukung pertumbuhan akar dan menjaga mawar tetap sehat. Selain itu, tanaman mawar memerlukan air yang cukup, sekitar 1-2 liter per minggu, tergantung pada kondisi cuaca dan jenis tanah.

Dalam konteks penyiraman otomatis untuk satu pot mawar, penyiraman biasanya dilakukan secara bertahap untuk menjaga keseimbangan kelembapan tanah. Perkiraan volume air yang dikeluarkan per penyiraman untuk satu pot mawar adalah sekitar 200-300 ml setiap kali penyiraman, tergantung tingkat kekeringan tanah. Jika tanah terlalu kering, tanaman akan mengalami stres, sementara penyiraman yang berlebihan bisa menyebabkan akar membusuk. Oleh karena itu, keseimbangan dalam penyiraman menjadi sangat penting.

Menggunakan teknologi modern, seperti sistem penyiraman otomatis berbasis IoT, dapat mempermudah pemilik tanaman dalam memastikan mawar mendapatkan air yang cukup secara teratur, bahkan saat pemilik tidak berada di rumah. Sistem penyiraman otomatis yang menggunakan *fuzzy logic* sangat bermanfaat karena dapat menyesuaikan penyiraman berdasarkan kondisi lingkungan suhu udara dan kelembapan tanah. *Fuzzy logic* memberikan keputusan lebih tepat dalam pengambilan keputusan dengan mempertimbangkan data dari sensor suhu udara dan kelembapan, sehingga penyiraman bisa disesuaikan dalam tiga tingkat: tidak menyiram, menyiram sedikit, atau menyiram sedang. Ini memastikan tanaman mawar tetap mendapatkan pasokan air yang optimal sesuai dengan kondisi yang berubah-ubah, dan mencegah penyiraman yang berlebihan atau terlalu sedikit.

Dengan demikian, *fuzzy logic* digunakan karena mampu menangani ketidakpastian atau variasi dalam kondisi lingkungan, perubahan suhu dan kelembapan yang tidak dapat diatasi dengan metode penyiraman otomatis biasa. Sistem ini membantu menjaga kondisi optimal bagi tanaman mawar, sehingga dapat tumbuh subur dan memperindah suasana rumah sepanjang waktu.

2.1.2 Fuzzy Logic

Fuzzy logic adalah salah satu cabang ilmu kecerdasan buatan yang dapat membuat komputer meniru manusia untuk melakukan sesuatu dengan menerapkannya ke suatu perangkat seperti robot, kendaraan sampai peralatan rumah. *Fuzzy logic* pertama kali diperkenalkan oleh Jan Lukasiewicz pada tahun 1930 dan kemudian dikembangkan lebih lanjut oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965 melalui jurnalnya yang berjudul "*Fuzzy Set*". *Fuzzy logic* terdiri dari tiga tahapan utama, yaitu fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi. *Fuzzy logic*

didasarkan pada konsep derajat keanggotaan yang memungkinkan nilai antara 0 dan 1, tidak terbatas pada nilai absolut dalam logika biner. Sementara logika biner hanya bisa menggambarkan kondisi yang jelas yaitu lembab atau tidak lembab, *fuzzy logic* mampu menggambarkan variasi suhu yang lebih kompleks, seperti sangat lembab, lembab, hingga sangat lembab, dan berbagai kondisi di antaranya (Nisa dkk., 2020).

Fuzzy logic didasarkan pada pengamatan bahwa manusia sering membuat keputusan berdasarkan informasi yang tidak pasti dan non-numerik. Himpunan *fuzzy* atau *model fuzzy* adalah metode matematis untuk merepresentasikan ketidakpastian dan informasi yang tidak sepenuhnya jelas. Model-model ini memiliki kemampuan untuk mengenali, merepresentasikan, memproses, menafsirkan, dan memanfaatkan data yang ambigu dan kurang pasti. *Fuzzy logic* telah diterapkan di berbagai bidang, termasuk teori kontrol dan kecerdasan buatan, untuk membantu menangani situasi yang melibatkan ketidakpastian.

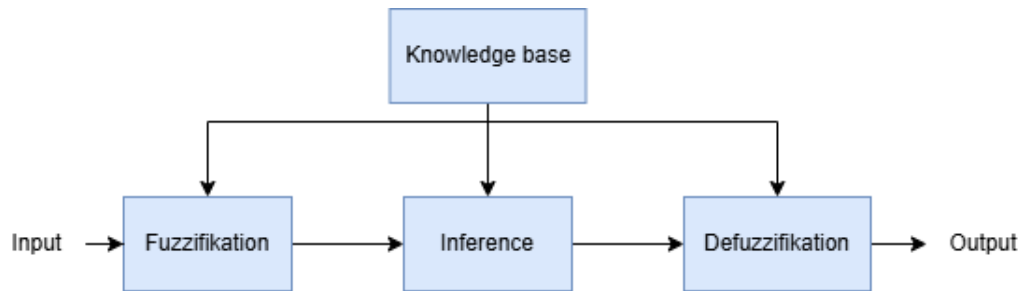
Fuzzy logic mampu merepresentasikan pernyataan yang sepenuhnya benar atau salah, dan pernyataan yang sebagian benar dan/atau sebagian salah. Sementara logika klasik beroperasi dalam batasan hitam-putih, "ya" atau "tidak", *fuzzy logic* bekerja dalam berbagai nuansa abu-abu. Kemampuannya untuk merepresentasikan derajat kebenaran melalui apa yang dikenal sebagai tagar/hedges dan variabel linguistik membuat *fuzzy logic* sangat cocok untuk menangani ide-ide yang bersifat tidak jelas atau ambigu. Konsep ini telah ada bahkan sebelum revolusi industri, meskipun dalam bentuk yang lebih sederhana seperti buku besar, kuitansi, dan data bisnis terkait.

Fuzzy Logic dapat membuat model dari suatu sistem, yang kompleks dengan sedikit data dan numerik. Fuzzy sendiri dibangun oleh 4 komponen utama yaitu :

- 1) Proses aturan dasar, basis kaidah (*rulebase*) yang berisi aturan-aturan secara linguistik.
- 2) Proses Inferensi merupakan suatu mekanisme pengambilan keputusan (*inference engine*) yang memperagakan bagaimana para pakar mengambil suatu keputusan dengan menerapkan pengetahuan.

- 3) Proses Fuzzifikasi (*Fuzzification*) akan mengubah besaran tegas (*crisp*) ke besaran Fuzzy.

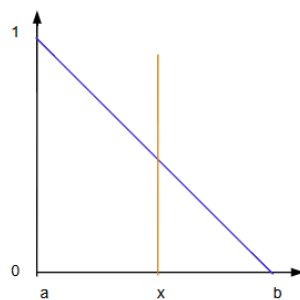
Proses Defuzzifikasi (*Defuzzification*) yang akan mengubah besaran Fuzzy hasil dari inferensi menjadi besaran tegas (*crisp*)



Gambar 2. 2 Tahapan *Fuzzy Logic*

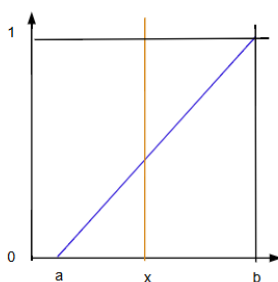
Fungsi keanggotaan sebagai berikut :

- a. Linier Turun



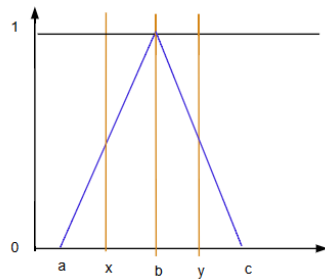
$$\mu[x] = \begin{cases} \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 0, & x \geq 0 \end{cases}$$

- b. Linier Naik



$$\mu[x] = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & x \geq b \end{cases}$$

c. Kurva Segitiga



$$\mu [x] = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-y}{c-b}, & b \leq x \leq c \end{cases}$$

d. Kurva Trapezium



$$\mu [x] = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-y}{d-c}, & c \leq x \leq d \end{cases}$$

Terdapat beberapa jenis *Fuzzy Inference System* /FIS yang dapat melakukan penalaran dengan prinsip seperti manusia melakukan penalaran dengan nalurnya diantaranya adalah Mamdani, Sugeno dan Tsukamoto. Dalam implementasinya, sistem *Fuzzy* terdiri dari 3 bagian, yaitu fuzzifikasi, inferensi *Fuzzy*, dan defuzzifikasi (*optional*), yang dimaksud *optional* disini jika konklusinya sudah sesuai dengan yang diinginkan, maka tidak perlu dilakukan defuzzifikasi, tetapi jika konklusinya belum memenuhi maka perlu dilakukan defuzzifikasi.

1) Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah pemetaan nilai input yang merupakan nilai tegas ke dalam fungsi keanggotaan himpunan *Fuzzy*, untuk kemudian diolah di dalam mesin penalaran. Nilai *Fuzzy* berupa himpunan *Fuzzy* yang masing-masing akan memiliki derajat keanggotaan dengan rentang antara 0 hingga 1.

2) Aturan Dasar

Aturan dasar dalam kendali logika *Fuzzy* adalah aturan implikasi dalam bentuk “jika ... maka ...”. Aturan dasar tersebut ditentukan dengan bantuan seorang pakar yang mengetahui karakteristik objek yang akan

dikendalikan. Pada bagian ini proses pengolahan data input fuzzifikasi dengan inferensi akan menghasilkan keputusan dengan aturan yang dibuat.

3) Inferensi *Fuzzy* (FIS dengan Metode Tsukamoto)

Fuzzy Inference System dengan Metode Tsukamoto Sistem Inferensi *Fuzzy* (*Fuzzy Inference System*/FIS) disebut juga *Fuzzy inference engine* adalah sistem yang dapat melakukan penalaran dengan prinsip seperti manusia melakukan penalaran dengan nalurinya. Pada tahapan inferensi ini sistem menalar nilai masukan untuk menentukan nilai keluaran sebagai bentuk pengambil keputusan. Sistem terdiri dari beberapa aturan, maka kesimpulan diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Pada bagian inferensi, menerapkan fungsi min untuk setiap aturan pada α Predikat. Sebagai hasilnya, output hasil inferensi dari tiap-tiap aturan diberikan secara tegas (*crisp*) berdasarkan α -predikat (*fire strength*). Hasil akhirnya diperoleh dengan menggunakan rata-rata terbobot Sehingga penerapan fungsi min dilakukan sesuai dengan banyaknya aturan *Fuzzy* (*rulebase*).

4) Defuzzifikasi

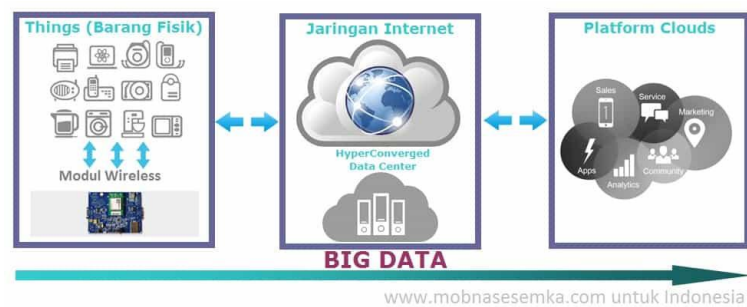
Defuzzifikasi merupakan kebalikan dari fuzzifikasi, yaitu pemetaan dari himpunan *Fuzzy* ke himpunan tegas. Input dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan *Fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *Fuzzy*. Proses ini merupakan penggabungan dari inferensi *Fuzzy* yang telah didapatkan. Hasil dari defuzzifikasi ini merupakan output dari sistem kendali logika *Fuzzy*.

2.1.3 *Internet of Things (IoT)*

Internet pertama kali muncul pada tahun 1989, dan sejak saat itu banyak perubahan terjadi pada teknologi ini. Pada tahun 1990, John Romkey menciptakan perangkat berupa pemanggang roti yang bisa dinyalakan dan dimatikan melalui koneksi internet. Kemudian, pada tahun 1994, Steve Mann menciptakan perangkat *WearCam*. Pada tahun 1997, Paul Saffo memberikan penjelasan pertama tentang sensor dan masa depannya. *Internet of Things (IoT)* pertama kali diperkenalkan pada tahun 1999 oleh Kevin Ashton, seorang anggota komunitas Radio Frequency Identification (RFID), yang juga merupakan direktur eksekutif Auto-ID Center di MIT. Konsep ini semakin

relevan dengan kemajuan teknologi modern, terutama karena pertumbuhan perangkat seluler, komunikasi tertanam, komputasi awan, dan analisis data. IoT adalah konsep yang bertujuan memperluas manfaat dari konektivitas internet, yang terus-menerus terhubung. IoT memungkinkan berbagi data, kendali jarak jauh, dan berbagai kemampuan lain, termasuk menghubungkan perangkat fisik di dunia nyata (Selay dkk., 2022).

Teknologi IoT memungkinkan perangkat seperti sensor kelembapan tanah, dan suhu ruang terhubung ke jaringan internet, sehingga dapat dikendalikan secara jarak jauh dan beroperasi secara otomatis. Sistem ini sangat sesuai dalam memantau kondisi tanaman dan memastikan bahwa tanaman mendapatkan jumlah air yang tepat sesuai dengan kebutuhan. Contoh sederhana manfaat dan implementasi dari *Internet of Things* misalnya adalah sensor kelembapan tanah yang memberitahu via SMS tentang kadar kelembapan tanah. Konsep IoT ini sebetulnya cukup sederhana dengan cara kerja mengacu pada 3 elemen utama pada arsitektur IoT, yakni: Barang Fisik yang dilengkapi modul IoT, Perangkat Koneksi ke Internet seperti Modem dan *Router Wireless Speedy*, dan *Cloud Data Center* tempat untuk menyimpan aplikasi dan database.



Gambar 2. 3 Konsep IoT
(Sumber Mobnasesemka.com)

Cara Kerja *Internet of Things* yaitu dengan memanfaatkan sebuah argumentasi pemrograman yang dimana tiap-tiap perintah argumennya itu menghasilkan sebuah interaksi antara sesama mesin yang terhubung secara otomatis tanpa campur tangan manusia dan dalam jarak berapa pun. Internetlah yang menjadi penghubung di antara kedua interaksi mesin tersebut, sementara manusia hanya bertugas sebagai pengatur dan pengawas bekerjanya alat tersebut secara langsung.

Tabel 2. 1 Penerapan IoT

Implementasi IoT Dalam Bidang Keamanan	Pengamanan menggunakan kamera CCTV di rumah, jalan dan gedung dapat dikontrol dimana saja
Implementasi IoT Dalam Bidang Pertanian	Penggunaan sensor tanah untuk pemantauan kelembapan dan <i>nutrisi Smart Irrigation System, Smart Soil Monitoring</i> Pemantauan cuaca dan lingkungan secara <i>real-time, Livestock Monitoring, Weather Monitoring Systems</i>
Implementasi IoT dalam bidang Medis	Pemasangan sensor detak jantung dan sensor yang lain pada pasien yang terhubung ke ruang pusat kontrol untuk memonitor keadaan pasien secara otomatis dan memberikan peringatan jika terjadi hal buruk.

2.1.4 Relay

Modul Relay adalah sebuah saklar magnet, yang berfungsi untuk memutuskan dan menghubungkan arus listrik. Prinsip kerja relay secara umum sama dengan kontaktor magnet yaitu berdasarkan kemagnetan yang dihasilkan oleh kumparan coil (Effendi dkk., 2022). Coil akan menciptakan medan magnet yang menarik atau melepaskan kontak saklar. Relay umumnya digunakan untuk mengontrol beban listrik berdaya tinggi menggunakan sinyal listrik berdaya rendah.

Prinsip kerja relay didasarkan pada kemagnetan yang dihasilkan oleh kumparan listrik. Saat arus listrik mengalir melalui kumparan, medan magnet yang terbentuk akan menarik kontak saklar sehingga menghubungkan atau memutuskan rangkaian listrik utama. Relay terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu coil (kumparan elektromagnetik) yang menghasilkan medan magnet ketika dialiri arus listrik, kontak saklar yang berfungsi sebagai pemutus dan penghubung arus listrik, dan pegas yang mengembalikan kontak ke posisi semula saat medan magnet tidak lagi terbentuk. Pada proyek *Smart Plant Pot* ini relay digunakan untuk mengontrol sistem penyiraman tanaman secara otomatis dengan menghubungkan atau memutus aliran listrik pada pompa air. Ketika

sensor mendeteksi kelembapan tanah pada kelembapan yang telah ditentukan sistem akan mengaktifkan relay untuk menyalakan pompa air atau sebaliknya.



Gambar 2. 4 Relay

(Sumber Effendi dkk., 2022)

2.1.5 Sensor DHT22

DHT22 adalah sensor digital suhu dan kelembapan yang menghasilkan sinyal digital yang sudah dikalibrasi. Berkat teknologi akuisisi modul digital khusus dan inovasi dalam penginderaan suhu dan kelembapan, DHT22 menawarkan keandalan yang sangat tinggi dan stabilitas jangka panjang yang sangat baik. Penggunaan sensor DHT22 untuk menstabilkan suhu dan kelembapan menjadi alternatif yang mempermudah, mengizinkan pengaturan otomatis untuk mencapai stabilitas yang diinginkan.

Sensor DHT22 bekerja dengan menghasilkan sinyal digital yang sudah dikalibrasi, sehingga mempermudah integrasi dengan berbagai sistem elektronik. DHT22 menggunakan teknologi akuisisi modul digital khusus dan inovasi dalam penginderaan suhu dan kelembapan, yang membuatnya memiliki keandalan tinggi dan stabilitas jangka panjang yang sangat baik. Sensor ini terdiri dari elemen pengindra kelembapan kapasitif dan termistor untuk mengukur suhu, dengan sinyal yang dikirimkan melalui protokol komunikasi digital satu kawat (*single-wire*). Pada *Smart Plant Pot*, DHT22 berperan dalam memantau kondisi lingkungan tanaman suhu dan tingkat kelembapan udara. Informasi yang diperoleh dari sensor ini dapat digunakan untuk mengaktifkan sistem pendingin atau penyiraman otomatis guna menjaga kondisi optimal bagi pertumbuhan tanaman.

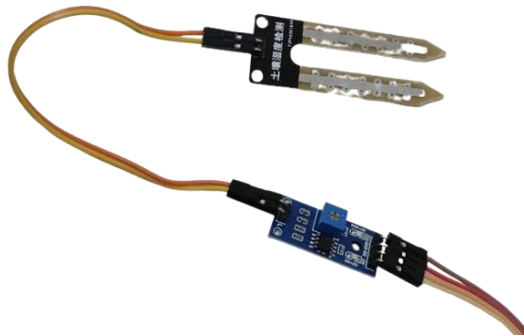


Gambar 2. 5 Sensor DHT22
(Sumber Lestari dkk., 2023)

2.1.6 Sensor Soil Moisture

Sensor soil moisture atau sensor kelembapan tanah adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur kadar air dalam tanah, yang penting dalam menentukan kebutuhan penyiraman tanaman. Prinsip kerja dari sensor soil moisture adalah mendeteksi resistansi listrik di dalam tanah, yang berubah seiring dengan perubahan kelembapan. Ketika tanah dalam kondisi basah, resistansi akan menurun karena air sebagai konduktor meningkatkan arus listrik. Sebaliknya, ketika tanah kering, resistansi akan meningkat karena tanah yang kering kurang menghantarkan arus listrik. Dalam perancangan sistem penyiraman otomatis berbasis IoT, sensor *soil moisture* digunakan sebagai komponen utama untuk mendeteksi tingkat kelembapan tanah secara *real-time*, sehingga keputusan penyiraman dapat diambil berdasarkan data yang akurat.

Penggunaan sensor *soil moisture* pada sistem otomatisasi penyiraman tanaman mawar sangat penting untuk menjaga kondisi tanah agar selalu berada dalam tingkat kelembapan yang optimal. Sensor ini terintegrasi dengan algoritma *fuzzy logic* yang mengolah data dari sensor untuk menentukan kapan dan berapa banyak tanaman mawar perlu disiram. Dengan bantuan sensor ini, sistem dapat melakukan penyiraman secara otomatis dan presisi, menghindari risiko *overwatering* (penyiraman berlebihan) yang dapat menyebabkan akar busuk, atau *underwatering* (kekurangan air) yang bisa menghambat pertumbuhan tanaman.



Gambar 2. 6 Sensor Soil Moisture

2.1.7 NodeMCU ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler yang dikenalkan oleh *Espressif System* merupakan penerus dari mikrokontroler ESP8266. Pada mikrokontroler ini sudah tersedia modul WiFi dalam chip sehingga sangat mendukung untuk membuat sistem aplikasi *Internet of Things*. Dapat dilihat pada Gambar 2.7 merupakan *pin out* dari ESP32. Pin tersebut dapat dijadikan input atau output untuk menyalakan LCD, lampu, bahkan untuk menggerakkan motor DC (Lestari dkk., 2023).

ESP32 ini memiliki performa lebih tinggi dengan fitur yang lebih lengkap, termasuk prosesor dual-core, konektivitas *WiFi* dan *Bluetooth*, dan berbagai antarmuka I/O yang mendukung pengembangan sistem berbasis *Internet of Things (IoT)*. Salah satu keunggulan utama ESP32 adalah kemampuannya dalam menghubungkan perangkat ke jaringan internet secara langsung tanpa memerlukan modul tambahan, sehingga sangat efisien dalam membangun sistem otomatisasi berbasis IoT. Mikrokontroler ini memiliki berbagai pin I/O yang dapat digunakan sebagai input maupun output, memungkinkan integrasi dengan berbagai sensor dan aktuator, seperti LCD, lampu, dan motor DC. Pada proyek *Smart Plant Pot* ini, ESP32 berfungsi sebagai unit pemrosesan utama yang mengontrol seluruh sistem, mulai dari membaca data sensor kelembapan dan suhu, mengaktifkan relay untuk pompa air, hingga mengirimkan informasi ke aplikasi atau *platform cloud* untuk pemantauan jarak jauh. Dengan fitur *WiFi* yang dimilikinya, ESP32 memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengontrol kondisi tanaman secara real-time melalui perangkat seluler atau komputer.



Gambar 2. 7 *NodeMCU ESP32*
(Sumber Lestari dkk., 2023)

2.1.8 Pompa Air

Pompa adalah perangkat mekanis yang berfungsi untuk memindahkan cairan dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi, atau untuk mengalirkan cairan dari area bertekanan rendah ke area bertekanan tinggi. Pompa juga digunakan untuk meningkatkan laju aliran dalam sistem jaringan perpipaan dengan memanfaatkan tenaga listrik untuk mendorong air secara berkesinambungan (Lestari dkk., 2023).

Pada proyek *Smart Plant Pot* menggunakan pompa air motor DC digunakan untuk mengalirkan air ke tanaman secara otomatis berdasarkan data kelembapan tanah yang diperoleh dari sensor. Ketika kelembapan tanah terdeteksi rendah, mikrokontroler ESP32 akan mengaktifkan relay, yang kemudian menyalakan pompa air untuk menyiram tanaman. Setelah kelembapan mencapai tingkat yang diinginkan, sistem akan mematikan pompa untuk menghemat energi dan mencegah penyiraman berlebih. Pompa air ini menggunakan motor listrik arus searah (DC) untuk menggerakkan impeller atau diafragma dalam proses pemindahan air. Pompa ini bekerja dengan mengubah energi listrik dari sumber daya, seperti baterai atau adaptor, menjadi energi mekanik untuk menciptakan aliran air. Keunggulan utama pompa air motor DC adalah efisiensinya dalam konsumsi daya, ukuran yang relatif kecil, dan kemampuannya untuk dioperasikan pada tegangan rendah, sehingga sangat cocok untuk aplikasi otomasi dan sistem berbasis *Internet of Things* (IoT).



Gambar 2. 8 Pompa Air

2.1.9 Oled Display

Oled Display adalah salah satu pilihan untuk media *display out* pada module Arduino atau *controller* lain. Kelebihannya adalah kontras pixelnya yang sangat tajam dan tidak memerlukan cahaya *backlight* sehingga hemat dalam konsumsi daya. Alat ini akan menampilkan informasi tentang suhu udara dan kelembapan tanaman yang diterima. *Oled Display* sering digunakan sebagai media output pada berbagai mikrokontroler Arduino atau ESP32, untuk menampilkan data sensor secara real-time.

Oled Display ini digunakan untuk menampilkan informasi penting seperti suhu udara, kelembapan udara, dan status penyiraman tanaman berdasarkan data yang diperoleh dari sensor DHT22 dan sensor kelembapan tanah. Tampilan informasi tersebut pengguna dapat memantau kondisi tanaman secara langsung tanpa perlu mengakses aplikasi tambahan. Keunggulan lain dari *Oled Display* adalah ukurannya yang kecil dan fleksibilitas dalam desain tampilan, sehingga sangat cocok untuk sistem monitoring berbasis IoT dengan keterbatasan ruang dan daya.



Gambar 2. 9 *Oled Display*
(Sumber Nugroho & Effendi, 2022)

2.1.8 Power Supply

Modul *Breadboard Power Supply* MB102 merupakan perangkat regulator tegangan DC-ke-DC yang didesain khusus untuk diaplikasikan pada *project board* atau *breadboard*. Modul ini berfungsi untuk menurunkan dan menstabilkan tegangan masukan (*input*) yang tidak reguler menjadi tegangan keluaran (*output*) yang aman bagi komponen digital.



Gambar 2. 10 Power supply

2.1.9 Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) adalah protokol komunikasi yang dikembangkan oleh IBM pada tahun 1999 dengan tujuan menghubungkan perangkat yang memiliki keterbatasan daya, *bandwidth*, dan kemampuan komputasi, seperti perangkat IoT. MQTT menggunakan arsitektur *publish/subscribe*, yang artinya *publisher* (pengirim data) dan *subscriber* (penerima data) tidak berinteraksi secara langsung melainkan melalui perantara yang disebut broker. Protokol ini sangat ringan dan efisien, sehingga cocok digunakan untuk lingkungan yang membutuhkan komunikasi *real-time* dengan konsumsi daya dan *bandwidth* yang rendah. Karena sifatnya yang minimalis, MQTT sangat populer dalam implementasi berbagai sistem berbasis IoT, termasuk *smart home*, sistem pemantauan lingkungan, dan sistem otomasi pertanian.

Dalam protokol MQTT, *broker* bertanggung jawab untuk menerima pesan dari *publisher* dan kemudian meneruskannya kepada *subscriber* yang berlangganan pada topik tertentu. Komunikasi ini dilakukan melalui jalur komunikasi berbasis TCP/IP yang memastikan keandalan dan pengiriman data secara berurutan. MQTT mendukung tiga tingkatan kualitas layanan (QoS), yaitu "*at most once*," "*at least once*," dan "*exactly once*," yang memungkinkan penyesuaian tingkat reliabilitas sesuai kebutuhan. MQTT dirancang agar tetap berfungsi optimal meskipun kondisi jaringan tidak stabil, menjadikannya solusi yang sangat tepat dan andal untuk sistem yang beroperasi pada jaringan yang memiliki *bandwidth* terbatas.

Pada perancangan sistem penyiraman otomatis berbasis IoT untuk tanaman mawar, MQTT digunakan untuk mengirimkan data sensor suhu udara dan kelembapan tanah dari perangkat NodeMCU ke broker MQTT yang berada di *server cloud* atau *platform* monitoring. Dari sana, data dapat diterima oleh aplikasi pengguna atau sistem monitoring lainnya yang berfungsi sebagai *subscriber*. Penggunaan MQTT memungkinkan pemantauan kondisi tanaman mawar secara *real-time* dan kontrol penyiraman secara jarak jauh, sehingga proses penyiraman menjadi lebih sesuai dengan kebutuhan tanaman, tanpa memerlukan intervensi manual.

2.1.10 MongoDB

MongoDB adalah salah satu jenis database NoSQL yang dirancang untuk mengelola dan menyimpan data secara tepat, terutama untuk aplikasi yang membutuhkan fleksibilitas dan skalabilitas tinggi. Berbeda dengan database relasional tradisional, MongoDB menggunakan model penyimpanan data berbasis dokumen dalam format *Binary JSON* (BSON), yang memungkinkan penyimpanan data yang tidak terstruktur atau semi-terstruktur. Hal ini membuat MongoDB ideal untuk menangani data sensor dari perangkat IoT yang biasanya tidak memiliki format yang tetap.

MongoDB sangat cocok untuk menyimpan data sensor suhu dan kelembapan dalam proyek IoT sistem penyiraman otomatis. Dengan model data yang fleksibel, MongoDB memungkinkan setiap pembacaan data dari sensor untuk disimpan dalam bentuk dokumen yang berisi pasangan *key-value*. Misalnya, setiap data suhu udara dan kelembapan dari sensor dapat disimpan bersama dengan informasi *timestamp* untuk mencatat waktu pembacaan data tersebut. Fleksibilitas ini memudahkan penyimpanan data yang bervariasi tanpa perlu mengikuti skema tetap pada database relasional.

Keunggulan utama MongoDB terletak pada skalabilitas dan kecepatan dalam menangani data dalam jumlah besar. MongoDB dapat di-*scale-out* ke beberapa server untuk menangani volume data sensor yang terus meningkat, sehingga sangat efisien untuk penyimpanan data yang dihasilkan secara *real-time* oleh sistem IoT. Selain itu, MongoDB mendukung pengambilan dan penulisan data dengan cepat, yang penting untuk memastikan sistem penyiraman otomatis

bekerja secara optimal dan responsif terhadap perubahan kondisi kelembapan tanah dan suhu ruang.

Dengan kemampuan untuk mengelola data secara *real-time* dan kemudahan integrasi dengan *platform* IoT dan protokol komunikasi MQTT, MongoDB memberikan solusi penyimpanan data yang optimal dalam proyek sistem penyiraman otomatis. Data sensor yang disimpan dapat dengan mudah diambil dan dianalisis untuk menentukan kebutuhan penyiraman, memastikan tanaman tetap terjaga dengan baik tanpa intervensi manual yang berlebihan.

2.1.11 Node-RED

Node-RED adalah platform pengembangan berbasis *flow* yang memudahkan integrasi antara perangkat keras, API, dan layanan *online* dengan cara visual. Alat ini dirancang untuk membantu dalam pengembangan proyek-proyek *Internet of Things (IoT)*, termasuk pada perancangan *Smart Plant Pot*. Dengan menggunakan Node-RED, pengembang dapat dengan mudah membuat aliran kerja atau *workflow* yang menghubungkan berbagai perangkat pada sensor kelembapan tanah dan suhu ruang, pompa air, dan komponen lain yang diperlukan dalam sistem. Selain itu, Node-RED mendukung protokol komunikasi MQTT, yang memungkinkan pengiriman data sensor ke *platform cloud* untuk diolah dan dipantau secara *real-time*. Fitur *drag-and-drop* dalam antarmuka Node-RED juga mempermudah pengembangan sistem IoT tanpa memerlukan banyak pengkodean manual.

Dalam penerapan pada *Smart Plant Pot*, Node-RED digunakan untuk mengelola data yang diperoleh dari sensor dan menentukan kapan sistem penyiraman harus aktif. Dengan algoritma *fuzzy logic* yang diimplementasikan di dalam Node-RED, data kelembapan tanah dan suhu udara dapat diproses untuk menentukan durasi penyiraman yang optimal. Selain itu, Node-RED juga mendukung pembuatan *dashboard monitoring* yang memungkinkan pengguna memantau kondisi tanaman dan penyiraman secara mudah. Penggunaan Node-RED dalam sistem ini memberikan fleksibilitas tinggi, memungkinkan pemantauan pot tanaman pintar dari jarak jauh, dan otomatisasi yang efektif dalam menjaga kelembapan tanah sesuai kebutuhan tanaman.

2.1.12 Teori Pengujian

Pengujian merupakan tahap penting dalam perancangan sistem untuk memastikan bahwa sistem yang dirancang berfungsi sesuai dengan spesifikasi dan kebutuhan pengguna. Pada perancangan sistem penyiraman otomatis berbasis IoT ini, pengujian dilakukan untuk memverifikasi bahwa sensor, perangkat, dan algoritma *fuzzy logic* bekerja dengan baik dalam mendeteksi kondisi tanaman mawar dan melakukan penyiraman yang sesuai. Pengujian ini melibatkan beberapa tahapan, termasuk pengujian perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*), dan performa sistem secara keseluruhan dalam kondisi lingkungan yang berbeda. Adapun jenis pengujian yang perlu dilakukan yaitu :

1) Pengujian Fungsional (*Functional Testing*)

Pengujian ini dilakukan memastikan bahwa setiap komponen dalam sistem bekerja sesuai dengan fungsinya. Pada sistem penyiraman otomatis ini, pengujian meliputi:

- a. Pengujian Sensor Soil Moisture dan Suhu : Memastikan sensor dapat mendeteksi tingkat kelembapan tanah dan suhu lingkungan dengan akurat.
- b. Pengujian Algoritma Fuzzy Logic: Memastikan bahwa algoritma fuzzy logic dapat mengambil keputusan penyiraman berdasarkan data input dari sensor (kelembapan tanah dan suhu udara). Pengujian dilakukan dengan kondisi tanah kering, lembab, dan basah untuk melihat respon penyiraman.
- c. Pengujian Pompa Air: Menguji apakah pompa air menyala dan menyiram tanaman ketika kondisi tanah memerlukan penyiraman, dan berhenti ketika kondisi tanah sudah memenuhi syarat kelembapan yang optimal.

2) Pengujian Kinerja (*Performance Testing*)

Pengujian kinerja dilakukan untuk mengevaluasi keandalan sistem dalam berbagai kondisi lingkungan. Pada pengujian ini, sistem akan dioperasikan selama periode tertentu untuk melihat seberapa cepat sistem merespon perubahan kelembapan tanah dan suhu udara. Selain itu,

pengujian ini juga melihat ketahanan sistem terhadap gangguan jaringan, khususnya karena MQTT merupakan protokol yang digunakan untuk mengirimkan data dari sensor ke platform monitoring.

3) Pengujian *User Acceptance Testing* (UAT)

Pengujian ini dilakukan melalui kuesioner yang bertujuan untuk memastikan bahwa sistem sesuai dengan kebutuhan dan ekspektasi pengguna akhir, dalam hal ini pengguna yang memiliki tanaman mawar namun tidak selalu bisa melakukan penyiraman secara manual. Pengguna dapat memberikan penilaian apakah alat tersebut sesuai kebutuhan dan yang diharapkan. Selain itu dengan adanya pengujian ini penting untuk mendapatkan umpan balik dari pengguna akhir mengenai kemudahan penggunaan, ketepatan penyiraman, dan kesesuaian sistem dalam membantu merawat tanaman mawar. Hasil pengujian UAT dapat digunakan untuk melakukan perbaikan atau penyesuaian terhadap sistem sebelum implementasi akhir.

2.2 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian oleh Novianto (2021) mengatakan sistem *fuzzy logic* yang diterapkan pada mikrokontroler untuk penyiraman tanaman rumah kaca terbukti mampu secara otomatis memberikan keputusan kapan dan seberapa banyak tanaman perlu disiram. Sistem ini menggunakan tiga input fuzzy: kelembapan tanah dan suhu lingkungan. Dalam penelitiannya, untuk tanaman seledri, kelembapan optimal adalah 65%-75% dengan waktu penyiraman 10-14 detik dan rata-rata keluaran air sekitar ± 20 ml per detik. Logika fuzzy ini juga diterapkan pada tanaman cabai dengan kelembapan optimal 65%-85% dan suhu 22°C–35°C. Selain itu, penelitian ini menunjukkan bahwa alat penyiraman otomatis berbasis IoT dapat digunakan pada tanaman mawar, di mana pada suhu 28°C dan kelembapan 59%, alat tidak menyiram, sedangkan pada suhu 31°C–32°C dan kelembapan 23%-41%, alat akan aktif menyiram. Dengan metode *fuzzy logic*, sistem dapat menentukan waktu penyiraman yang tepat untuk tanaman mawar.

Pada penelitian Lestari dkk. (2023) menyatakan bahwa tingkat kelembapan tanah ideal untuk tanaman cabai adalah 60%-70%. Peningkatan

suhu ruang dapat mengurangi kandungan air, sehingga unsur hara sulit diserap oleh tanaman dan dapat menyebabkan kerusakan organ tanaman. Sebaliknya, jika suhu ruang rendah, kandungan air dalam tanah akan meningkat, namun aktivitas akar dan respirasi tanaman akan melambat, yang pada akhirnya memperlambat pertumbuhan tanaman. Penelitian ini juga menyoroti bahwa pengaruh suhu terhadap pertumbuhan cabai sangat bervariasi, suhu yang terlalu rendah menghambat pertumbuhan, sementara suhu tinggi dengan penyiraman rendah menghambat serapan akar dan meningkatkan transpirasi. Suhu optimal untuk pertumbuhan cabai adalah 24°C–28°C, dan suhu yang terlalu tinggi dapat memicu perkembangbiakan hama. Dari penelitian ini, disimpulkan bahwa pengendalian suhu dan kelembapan yang tepat sangat penting untuk menjaga pertumbuhan optimal tanaman cabai dan mencegah gangguan dari hama yang berkembang dalam kondisi suhu yang tidak terkendali.

Pada penelitian lainnya Rozie dkk. (2023) mengatakan penerapan *fuzzy logic* pada alat penyiram tanaman mawar menggunakan dua sensor yaitu suhu ruang dan kelembapan tanah. Alat ini menggunakan tiga keputusan penyiraman berdasarkan kondisi lingkungan: "tidak menyiram," "menyiram sedikit," dan "menyiram sedang." *Fuzzy logic* digunakan untuk menentukan tingkat penyiraman yang tepat dengan memproses data dari kedua sensor tersebut. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa alat penyiram otomatis dapat menjaga kelembapan tanah di kisaran optimal untuk tanaman mawar. Dalam uji coba, ketika suhu lingkungan berada di rentang 29°C–32°C dan kelembapan tanah kurang dari 40%, alat memberikan keputusan untuk "menyiram sedang". Sementara itu, jika kelembapan tanah lebih dari 60%, alat memutuskan untuk "tidak menyiram". Sehingga penerapan *fuzzy logic* lebih tepat dalam menjaga keseimbangan kebutuhan air tanaman mawar, mengurangi risiko penyiraman berlebih atau kurang, dan memastikan tanaman tumbuh dengan baik dalam kondisi lingkungan yang bervariasi.

Pada penelitian selanjutnya oleh Alamsyah dkk. (2024) menyatakan dalam implementasi alat menggunakan *logika fuzzy* berjalan dengan baik, kondisi tersebut dapat dilihat berdasarkan hasil pengujian yang telah

dilakukan di lahan pertanian. Berdasarkan tabel hasil uji coba, ketika nilai kelembapan kurang dari 25% (pada percobaan ke-1 dan ke-2), maka tanah tersebut tergolong dalam kategori kering kemudian pompa air pun otomatis menyala untuk menyiram tanaman. Setelah itu, pada percobaan ke-3 yang memiliki nilai kelembapan sebesar 34%, maka tanah tersebut tergolong dalam kategori lembab dan pompa air pun tidak akan menyala atau menghasilkan output mati. Pada percobaan ke-4 sensor mendeteksi nilai kelembapan sebesar 84%, maka tanah tersebut tergolong dalam kategori basah dan pompa air pun juga tidak akan menyala atau menghasilkan output mati. Tabel 2.2 merangkum penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian yang diajukan.

Tabel 2. 2 Penelitian Terkait

	Objek Penelitian	Parameter Utama	Rentang Kelembapan Ideal	Rentang Suhu Ideal	Hasil
Novianto, 2021	Seledri, Cabai, Mawar	Kelembapan tanah, Suhu lingkungan	a. Seledri: 65%-75% b. Cabai: 65%-85%	22°C – 35°C	a. Sistem <i>fuzzy logic</i> untuk otomatisasi penyiraman di rumah kaca. b. Seledri: waktu penyiraman 10-14 detik, ± 20 ml air/detik. c. Mawar : alat penyiraman menggunakan metode <i>fuzzy logic</i> dapat memperkirakan waktu penyiraman yang tepat.
Lestari dkk., 2023	Cabai	Kelembapan tanah, Suhu tanah	60%-70%	24°C – 28°C	a. Kelembapan tanah dan suhu mempengaruhi penyerapan hara. b. Suhu tinggi meningkatkan transpirasi, suhu rendah memperlambat pertumbuhan.

	Objek Penelitian	Parameter Utama	Rentang Kelembapan Ideal	Rentang Suhu Ideal	Hasil
Rozie dkk., 2023	Mawar	Kelembapan tanah, Suhu udara	-	-	Alat penyiraman tanaman mawar menggunakan metode fuzzy dengan 3 keputusan yaitu tanaman akan disiram sedang, sedikit ataupun tidak disiram.
Alamsyah dkk., 2024	Umum	Kelembapan tanah	<2 5% (kering), 34% (lembab) , 84% (basah)	-	a. Menggunakan fuzzy logic dengan IoT berbasis ESP8266 dan aplikasi Blynk. b. Sistem otomatis menyalakan/mematikan pompa sesuai kelembapan.
Fadhilla, 2025	Mawar	Kelembapan tanah, dan suhu ruang	-	-	Hasil yang diharapkan tanaman mawar dapat disiram secara otomatis berdasarkan sensor kelembapan tanah dan suhu ruang menggunakan metode <i>fuzzy logic</i> . Penyiraman dikontrol melalui <i>website</i> .

Pada keempat penelitian terdahulu ini dapat disimpulkan penggunaan metode *fuzzy logic* dan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam sistem penyiraman tanaman otomatis sangat efektif untuk mengoptimalkan penyiraman tanaman. *Fuzzy logic* mampu memberikan keputusan cerdas terkait kapan

penyiraman berdasarkan input kelembapan tanah dan suhu lingkungan, sehingga penyiraman sesuai kebutuhan tanaman.

