

BAB II

KAJIAN LITERATUR

2.1 Jamur

Jamur merupakan organisme yang termasuk dalam kingdom Fungi yang tidak memiliki klorofil sehingga tidak dapat melakukan fotosintesis. Jamur memperoleh nutrisi dengan cara menyerap zat organik dari lingkungan sekitarnya, baik sebagai saprofit maupun parasit. Organisme ini banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang, terutama sebagai bahan pangan karena memiliki kandungan gizi seperti protein, serat, dan vitamin yang cukup tinggi[7].

Pertumbuhan jamur sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan sirkulasi udara. Kelembapan yang stabil menjadi faktor utama dalam keberhasilan budidaya jamur, khususnya pada jamur konsumsi seperti Jamur Tiram[8]. Oleh karena itu, pengendalian lingkungan secara otomatis menggunakan teknologi seperti IoT sangat diperlukan untuk menjaga kondisi optimal dan meningkatkan hasil produksi jamur. Berbagai jenis jamur memiliki karakteristik yang berbeda, baik dari segi nama, manfaat, maupun daerah yang sesuai untuk pertumbuhannya. Penjelasan mengenai jenis-jenis jamur tersebut disajikan sebagai berikut:

1. Jamur Tiram

Jamur tiram merupakan salah satu jenis jamur konsumsi yang banyak dibudidayakan karena memiliki nilai gizi tinggi dan rasa yang lezat. Jamur ini berbentuk seperti cangkang tiram dengan warna putih hingga krem dan tekstur yang lembut. Jamur tiram kaya akan protein, serat, serta vitamin sehingga baik untuk kesehatan dan banyak digunakan dalam berbagai olahan makanan[9]. Jamur ini tumbuh optimal pada lingkungan dengan kelembapan tinggi dan suhu sejuk, umumnya cocok dibudidayakan di daerah dataran rendah hingga menengah dengan kondisi kumbung yang terkontrol.



Gambar 2.1 Jamur Tiram [10]

Pada Gambar 2.1 ditunjukkan bentuk fisik jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*) yang menjadi objek penelitian. Jamur tiram memiliki tudung berwarna putih hingga krem dengan batang yang tumbuh menyamping dan umumnya berkembang secara berkelompok pada media tanam berbahan serbuk kayu. Karakteristik tersebut menjadikan jamur tiram sebagai salah satu komoditas yang memerlukan pengendalian suhu dan kelembapan secara optimal selama proses budidaya.

2. Jamur Kuping

Jamur kuping merupakan salah satu jenis jamur konsumsi yang memiliki bentuk menyerupai telinga dengan tekstur kenyal dan berwarna coklat kehitaman. Jamur ini banyak dimanfaatkan sebagai bahan makanan serta memiliki khasiat kesehatan, seperti membantu melancarkan peredaran darah dan meningkatkan daya tahan tubuh. Jamur kuping tumbuh dengan baik pada lingkungan yang lembap dengan suhu sedang, umumnya dibudidayakan di daerah dataran rendah hingga menengah dengan sirkulasi udara yang cukup baik[11].



Gambar 2.2 Jamur Kuping[12]

Pada Gambar 2.2 ditunjukkan bentuk fisik jamur kuping (*Auricularia auriculajudae*). Jamur ini memiliki bentuk menyerupai daun telinga dengan tekstur yang tipis dan kenyal serta berwarna coklat hingga kehitaman. Jamur kuping umumnya tumbuh pada batang kayu yang telah lapuk dan memerlukan kelembapan udara yang cukup tinggi untuk mendukung pertumbuhannya.

3. Jamur Kancing

Jamur kancing merupakan salah satu jenis jamur konsumsi yang banyak digunakan dalam berbagai olahan makanan karena memiliki rasa yang khas dan tekstur yang lembut[13]. Jamur ini berbentuk bulat seperti kancing dengan warna putih hingga krem dan termasuk dalam jenis yang bernilai ekonomi tinggi. Selain sebagai bahan pangan, jamur kancing juga mengandung nutrisi seperti protein, vitamin, dan mineral yang baik bagi kesehatan. Jamur ini tumbuh optimal pada suhu yang lebih sejuk, sehingga lebih cocok dibudidayakan di daerah dataran tinggi dengan kelembapan yang terjaga.



Gambar 2. 3 Jamur Kancing[14]

Pada Gambar 2.3 ditunjukkan bentuk fisik jamur kancing (*Agaricus bisporus*). Jamur ini memiliki tudung berbentuk bulat menyerupai kancing dengan batang yang pendek dan berwarna putih hingga kecokelatan. Pertumbuhan jamur kancing juga dipengaruhi oleh kondisi suhu dan kelembapan lingkungan selama proses budidaya.

2.2 Internet of Things (IoT)

Internet of Things merupakan konsep yang menghubungkan perangkat fisik ke jaringan internet sehingga dapat saling bertukar data secara *real-time*. Pada penelitian ini, IoT digunakan untuk memonitor kondisi kelembapan dan mengontrol sistem *micro-spraying* secara otomatis. *Internet of Things* (IoT) merupakan teknologi yang memungkinkan berbagai perangkat atau objek fisik terhubung ke jaringan *internet* sehingga dapat saling

berkomunikasi, bertukar informasi, serta melakukan proses monitoring dan pengendalian sistem secara otomatis. Teknologi IoT memanfaatkan sensor, perangkat komunikasi, dan sistem pengolahan data untuk menghasilkan informasi yang dapat digunakan dalam pengambilan keputusan secara cepat dan akurat. Penerapan teknologi ini saat ini telah banyak digunakan pada berbagai bidang, seperti industri, kesehatan, transportasi, dan pertanian cerdas (*smart farming*) [15].

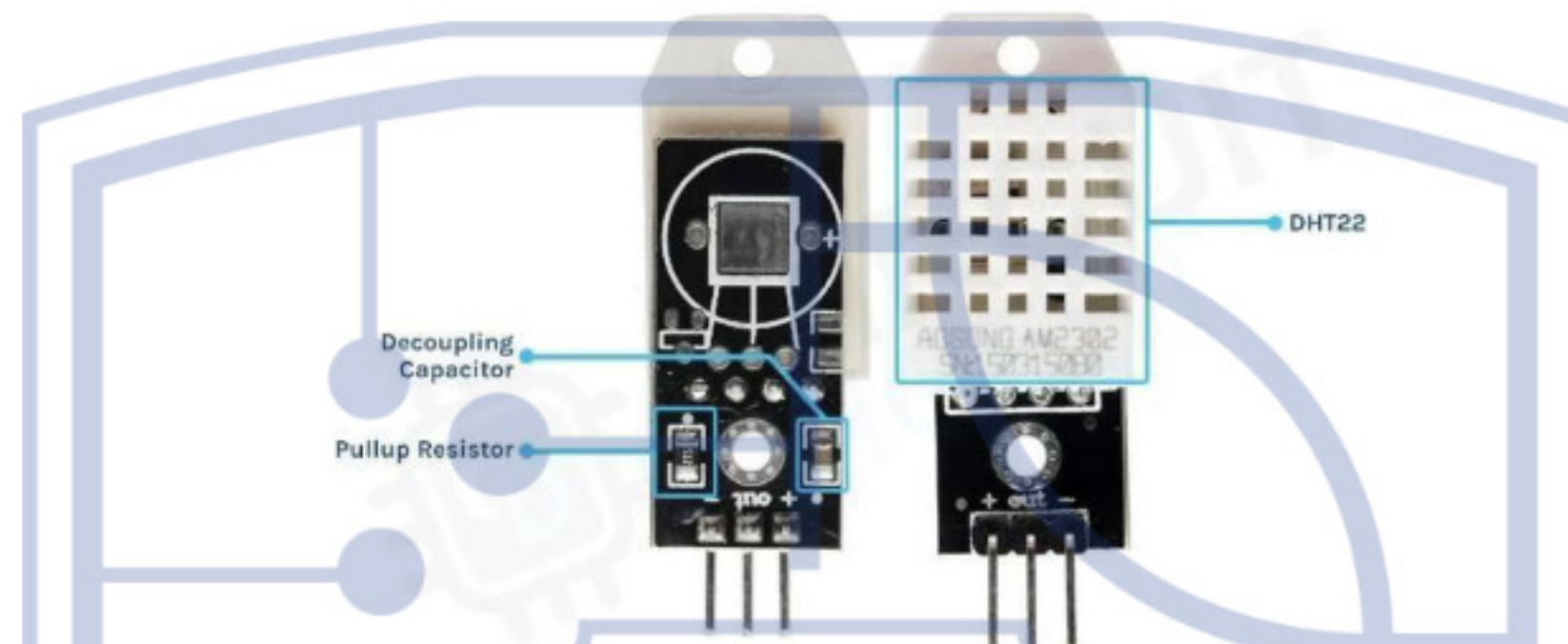
Pendapat lain juga menyatakan bahwa *Internet of Things* (IoT) merupakan konsep yang menghubungkan objek fisik atau perangkat dengan jaringan internet sehingga perangkat tersebut dapat saling berkomunikasi dan mentransmisikan data secara efisien melalui jaringan komunikasi digital. Melalui teknologi ini, sistem berbasis sensor dapat melakukan monitoring kondisi lingkungan dan mengirimkan informasi secara *real-time* sehingga memudahkan proses pengendalian dan pengambilan keputusan dalam suatu sistem otomatis. Dalam penelitian ini, teknologi IoT dimanfaatkan untuk memantau kondisi kelembapan pada kumbung jamur tiram serta mengontrol sistem *micro-spraying* secara otomatis agar kelembapan lingkungan tetap berada pada kondisi yang optimal [16].

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa *Internet of Things* (IoT) merupakan teknologi yang memungkinkan berbagai perangkat fisik terhubung dengan jaringan internet sehingga mampu saling berkomunikasi dan bertukar data secara *real-time*. Teknologi ini memanfaatkan sensor, perangkat komunikasi, serta sistem pengolahan data untuk melakukan proses pemantauan dan pengendalian secara otomatis. Dengan kemampuan tersebut, IoT dapat meningkatkan efisiensi dalam pengumpulan data, pengolahan informasi, serta pengambilan keputusan pada berbagai bidang. Dalam penelitian ini, teknologi IoT dimanfaatkan untuk memonitor kondisi kelembapan kumbung jamur tiram serta mengontrol sistem *micro-spraying* secara otomatis agar kondisi lingkungan tetap berada pada tingkat kelembapan yang optimal.

2.2.1 Sensor DHT22

Sensor merupakan perangkat atau modul yang mampu mendeteksi perubahan pada lingkungan dan mengirimkan informasi tersebut ke perangkat elektronik lain untuk diproses lebih lanjut. Teknologi sensor saat ini banyak digunakan dalam berbagai sistem otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) karena mampu menyediakan data lingkungan secara kontinu dan *real-time* sehingga mendukung proses monitoring dan pengendalian sistem secara lebih efektif [17].

Sensor merupakan perangkat elektronik yang digunakan untuk mendeteksi perubahan kondisi lingkungan atau besaran fisik tertentu, seperti suhu, kelembapan, tekanan, cahaya, maupun gerakan. Perubahan yang terdeteksi oleh sensor kemudian dikonversi menjadi sinyal listrik yang dapat diproses oleh sistem elektronik atau mikrokontroler. Dengan kemampuan tersebut, sensor dapat digunakan sebagai komponen utama dalam sistem monitoring maupun sistem kendali otomatis karena mampu memberikan informasi kondisi lingkungan secara *real-time* [18].



Gambar 2. 4 Sensor Suhu DHT22 [19]

Pada Gambar 2.4 ditunjukkan bentuk fisik sensor DHT22 yang digunakan pada penelitian ini. Sensor DHT22 berfungsi membaca nilai suhu dan kelembapan udara secara *real-time*, kemudian mengirimkan data hasil pengukuran kepada Arduino Uno untuk diproses sebagai dasar pengendalian sistem otomasi *micro-spraying*. Pada Gambar 2.4 ditunjukkan bentuk fisik sensor DHT22 yang digunakan pada penelitian ini. Sensor DHT22 berfungsi membaca nilai suhu dan kelembapan udara secara *real-time*, kemudian mengirimkan data hasil pengukuran kepada Arduino Uno untuk diproses sebagai dasar pengendalian sistem otomasi *micro-spraying*.

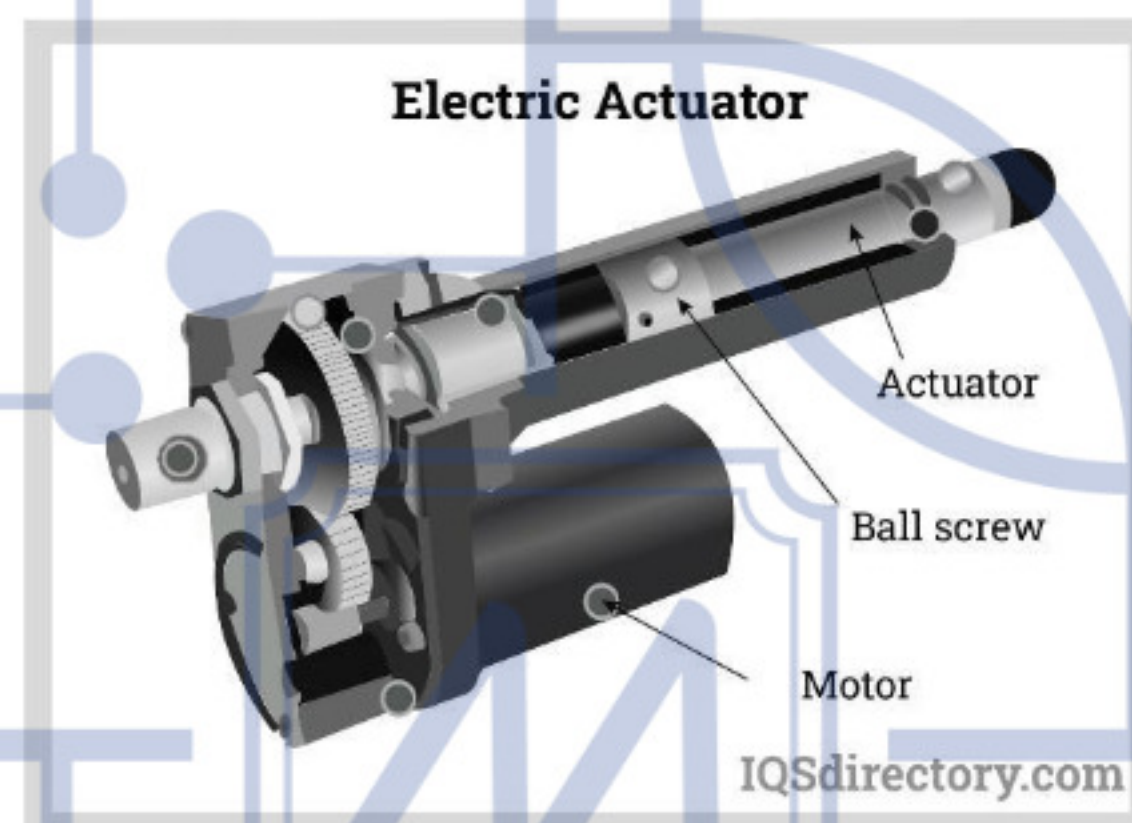
2.2.2 Aktuator

Aktuator adalah komponen yang berfungsi menjalankan aksi berdasarkan perintah sistem. Pada penelitian ini, aktuator berupa pompa air atau nozzle *sprayer* yang digunakan untuk melakukan penyemprotan kabut halus (*micro-spraying*).

Aktuator merupakan komponen dalam sistem otomasi yang berfungsi untuk menjalankan aksi atau gerakan berdasarkan perintah yang diberikan oleh sistem kontrol. Aktuator bekerja dengan mengubah sinyal kontrol atau energi yang diterima menjadi gerakan mekanis atau aksi fisik tertentu sehingga sistem dapat merespons kondisi yang terdeteksi oleh sensor. Dalam sistem otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT), aktuator

biasanya berperan sebagai perangkat keluaran (*output*) yang menerima perintah dari mikrokontroler setelah data dari sensor diproses oleh *system* [20].

Dalam penelitian ini, aktuator digunakan sebagai komponen yang menjalankan proses penyemprotan air pada kumbung jamur tiram. Aktuator yang digunakan berupa pompa air dan *nozzle sprayer* yang berfungsi menghasilkan kabut air halus (*micro-spraying*) untuk menjaga kelembapan udara di dalam kumbung jamur. Aktuator akan diaktifkan oleh mikrokontroler berdasarkan data kelembapan yang diperoleh dari sensor, sehingga sistem dapat menjaga kondisi lingkungan kumbung secara otomatis dan membantu menciptakan kondisi optimal bagi pertumbuhan jamur tiram.



Gambar 2. 5 Aktuator *Electric* [21]

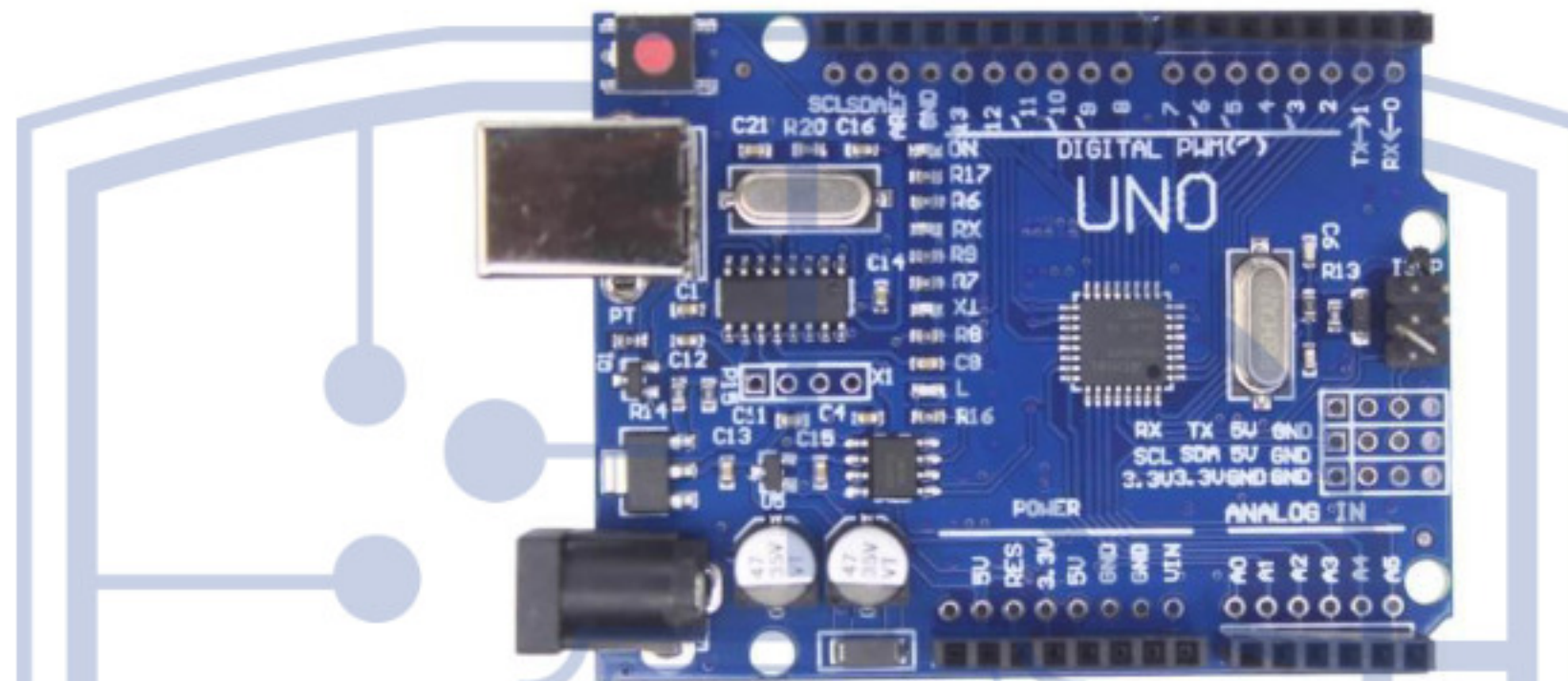
Gambar 2.5 ditunjukkan komponen aktuator yang digunakan pada penelitian ini. Aktuator berupa pompa air berfungsi mengalirkan air menuju *nozzle micro-spraying* ketika menerima perintah dari Arduino Uno melalui *relay*. Dengan adanya aktuator, proses penyemprotan dapat berlangsung secara otomatis tanpa memerlukan pengoperasian secara manual.

2.2.3 Arduino

Arduino Uno adalah mikrokontroler yang berfungsi sebagai pusat pengendali sistem. Arduino menerima data dari sensor, memprosesnya, lalu mengontrol aktuator sesuai dengan logika yang telah diprogram.

Arduino Uno digunakan sebagai pengendali utama yang mengintegrasikan sensor untuk melakukan proses pengukuran dan pengolahan data secara *real-time* dalam suatu sistem monitoring. Dalam penelitian tersebut, Arduino Uno berperan sebagai pusat pemrosesan yang menerima data dari sensor dan mengolahnya sebelum ditampilkan atau digunakan untuk pengendalian *system* [22].

Dalam penelitian ini, Arduino Uno digunakan sebagai pusat pengendali sistem yang menerima data kelembapan dari sensor di dalam kumbung jamur tiram, kemudian memproses data tersebut berdasarkan program yang telah dirancang. Selanjutnya Arduino Uno akan mengaktifkan atau menonaktifkan aktuator berupa pompa air dan *nozzle sprayer* pada sistem *micro-spraying* untuk menjaga kelembapan kumbung agar tetap berada pada kondisi optimal.



Gambar 2. 6 Arduino UNO [23]

Pada Gambar 2.6 ditunjukkan bentuk fisik Arduino Uno yang digunakan sebagai pengendali utama pada penelitian ini. Arduino Uno bertugas mengolah data suhu dan kelembapan dari sensor DHT22, kemudian memberikan perintah kepada *relay* untuk mengaktifkan atau menonaktifkan pompa air berdasarkan nilai *set point* yang telah ditentukan.

2.2.4 Modul ESP8266

ESP8266 merupakan modul mikrokontroler yang mendukung teknologi *Internet of Things* (IoT) karena memiliki kemampuan komunikasi *Wi-Fi* yang dapat digunakan untuk menghubungkan perangkat ke internet. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Beni Satria pada jurnal IoT Monitoring Suhu dan Kelembaban Udara dengan Node MCU ESP8266, ESP8266 digunakan bersama sensor DHT22 untuk melakukan monitoring suhu dan kelembapan secara *real-time* melalui *smartphone* menggunakan platform *Blynk*. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa ESP8266 mampu mengirim dan menerima data melalui jaringan internet sehingga proses monitoring menjadi lebih mudah dan efisien [24].

Selain itu, ESP8266 juga memiliki kemampuan untuk mengirim data sensor ke *server cloud* sehingga hasil pembacaan dapat diakses melalui perangkat lain seperti laptop maupun *smartphone*. Pada jurnal Perancangan Monitoring Suhu Berbasis *Internet of Things* dengan NodeMCU ESP8266, DHT22 dan *ThingSpeak*, dijelaskan bahwa data suhu dan kelembapan

yang diperoleh sensor DHT22 dikirim oleh NodeMCU ESP8266 ke platform *ThingSpeak* melalui koneksi *Wi-Fi*. Data tersebut kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik secara online sehingga pengguna dapat memantau kondisi lingkungan secara jarak jauh dan *real-time* [25].



Gambar 2. 7 Modul ESP8266 [26]

Pada Gambar 2.7 ditunjukkan bentuk fisik modul ESP8266 yang digunakan pada penelitian ini. Modul ESP8266 berperan sebagai media komunikasi antara Arduino Uno dan aplikasi *Blynk* sehingga informasi suhu, kelembapan, serta status pompa dapat dipantau melalui *smartphone*.

2.2.5 Blynk Iot

Blynk merupakan platform *Internet of Things* (IoT) berbasis *cloud* yang memungkinkan perangkat keras seperti mikrokontroler terhubung dengan aplikasi pada perangkat seluler melalui jaringan internet. Platform ini menyediakan antarmuka pengguna (*dashboard*) yang dapat digunakan untuk menampilkan data sensor, memantau kondisi sistem, serta mengendalikan perangkat secara *real-time*.

Pada penelitian ini, *Blynk* digunakan sebagai media monitoring untuk menampilkan data suhu dan kelembapan yang diperoleh dari sensor DHT22. Data hasil pembacaan sensor dikirimkan oleh modul ESP8266 ke *Blynk Cloud* melalui jaringan internet sehingga pengguna dapat memantau kondisi lingkungan kumbung jamur tiram secara jarak jauh menggunakan aplikasi *Blynk* pada *smartphone*. Selain itu, *Blynk* juga digunakan untuk menampilkan status kerja pompa *micro-spraying* sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi sistem secara langsung dan *real-time*[27].

2.2.6 Micro-Spraying

Micro-spraying diterapkan menggunakan alat pengabut atau mist maker untuk menjaga kelembapan udara pada kumbung jamur tiram putih. Sistem ini bekerja secara

otomatis dengan membaca nilai kelembapan menggunakan sensor DHT22, dimana mist maker akan menyala ketika kelembapan udara kurang dari 80% dan akan mati apabila kelembapan telah mencapai lebih dari 90%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan sistem micro-spraying berbasis mist maker mampu menjaga kondisi kelembapan ruangan dengan baik sehingga pertumbuhan jamur tiram putih menjadi lebih optimal dibandingkan tanpa pengendalian otomatis[28]. Sistem micro-spraying diterapkan menggunakan sprayer untuk mengendalikan temperatur dan kelembapan udara di dalam kumbung jamur. Penelitian menunjukkan bahwa penyemprotan kabut air pada dinding kumbung mampu menurunkan temperatur ruangan dari 28,7°C menjadi 27,6°C serta meningkatkan kelembapan udara hingga mencapai 99%.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa penggunaan sprayer memberikan pengaruh positif terhadap pertumbuhan jamur tiram, dimana perlakuan terbaik menghasilkan rata-rata panjang tangkai 11,6 cm, diameter tudung 12,3 cm, jumlah tudung 9,7 buah, dan berat jamur mencapai 181,4 gram[29].



Gambar 2. 8 Nozzle Micro-Sprayer[30]

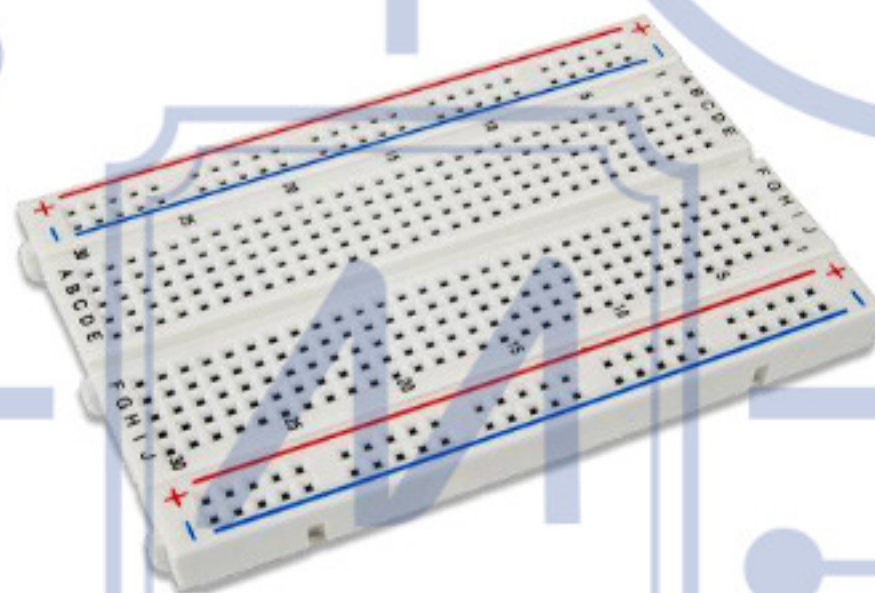
Pada Gambar 2.8 ditunjukkan nozzle *micro-spraying* yang digunakan sebagai media penyemprotan pada sistem. Penggunaan nozzle *micro-spraying* menghasilkan semprotan air yang lebih halus sehingga kelembapan udara dapat meningkat secara merata tanpa menyebabkan media tanam menjadi terlalu basah.

2.2.7 Breadboard

Breadboard merupakan salah satu komponen penting dalam proses perancangan dan pengujian rangkaian elektronika sebelum diimplementasikan secara permanen. Papan ini berfungsi sebagai media untuk menempatkan dan menyusun berbagai piranti atau komponen elektronika menjadi satu kesatuan rangkaian tanpa memerlukan proses penyolderan [31].

Dengan sifatnya yang tidak permanen, breadboard memungkinkan komponen untuk dipasang, dilepas, maupun diganti dengan mudah selama proses pengembangan sistem berlangsung.

Prinsip kerja *breadboard* didasarkan pada susunan lubang-lubang konduktif yang saling terhubung secara internal dalam pola tertentu, sehingga komponen yang ditancapkan pada lubang yang sama akan otomatis terhubung secara elektrik. Hubungan antara satu komponen dengan komponen elektronika lainnya pada breadboard dilakukan melalui kawat atau kabel penghubung yang ditancapkan pada titik-titik tersebut [31]. Karakteristik inilah yang membuat *breadboard* banyak digunakan dalam tahap prototyping sistem berbasis mikrokontroler, termasuk pada pengembangan sistem otomasi yang memanfaatkan sensor dan aktuator sebagai bagian dari rangkaianannya.



Gambar 2.9 Breadboard[32]

Pada Gambar 2.9 ditunjukkan *breadboard* yang digunakan pada penelitian ini sebagai media perakitan sementara seluruh rangkaian elektronika. *Breadboard* digunakan untuk menghubungkan Arduino Uno, sensor DHT22, modul NodeMCU ESP8266 V3, *relay*, dan komponen pendukung lainnya sehingga proses pengujian sistem dapat dilakukan tanpa penyolderan. Penggunaan *breadboard* memudahkan proses perakitan, pengujian, serta perbaikan rangkaian selama tahap pengembangan sistem.

2.3 UML (Unified Modeling Language)

Unified Modeling Language (UML) adalah bahasa pemodelan standar yang digunakan untuk memvisualisasikan, merancang, dan mendokumentasikan sistem perangkat lunak. UML membantu pengembang dalam menggambarkan struktur serta perilaku sistem sebelum proses implementasi dilakukan. Dengan menggunakan UML, proses perancangan sistem menjadi lebih terstruktur, sistematis, dan mudah dipahami oleh berbagai pihak yang terlibat dalam pengembangan.

UML juga berfungsi sebagai alat komunikasi antara analis sistem, developer, dan stakeholder dalam memahami kebutuhan dan alur kerja sistem. Melalui berbagai jenis diagram seperti *use case* diagram dan activity diagram, UML mampu menggambarkan fungsi sistem serta proses yang terjadi secara jelas. Oleh karena itu, penggunaan UML sangat penting dalam pengembangan sistem, termasuk dalam penelitian berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk memastikan sistem berjalan sesuai dengan kebutuhan yang telah dirancang.

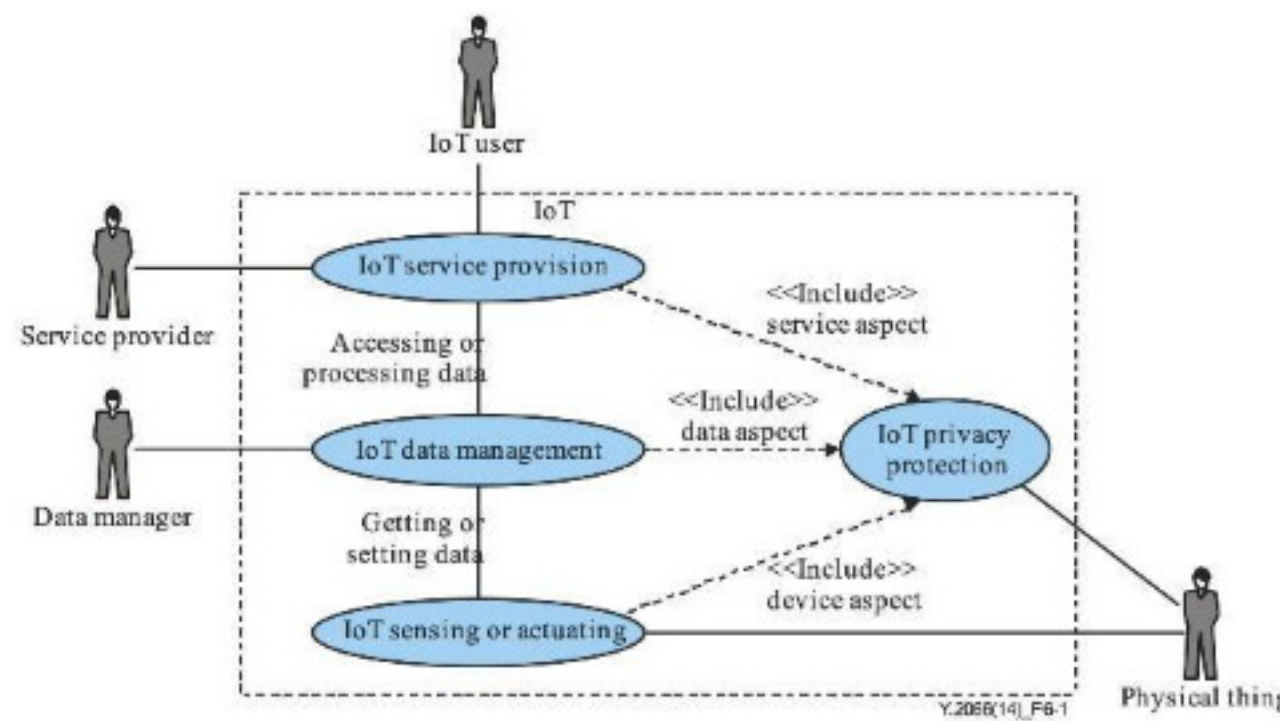
Unified Modeling Language merupakan bahasa pemodelan standar yang digunakan untuk memvisualisasikan, merancang, serta mendokumentasikan sistem perangkat lunak. UML menyediakan berbagai jenis diagram yang dapat digunakan untuk menggambarkan struktur sistem maupun interaksi antar komponen dalam sistem tersebut sehingga proses perancangan sistem dapat dilakukan secara sistematis dan terstruktur[33].

2.3.1 Diagram Use Case

Diagram *Use Case* digunakan untuk menggambarkan interaksi antara pengguna dan sistem. Diagram ini menunjukkan fungsi utama sistem seperti monitoring kelembapan dan pengendalian *micro-spraying*. *Use Case Diagram* (Diagram Kasus Penggunaan) adalah diagram dalam UML yang digunakan untuk menggambarkan interaksi antara aktor dengan sistem yang akan dibangun. Diagram ini berfokus pada fungsi-fungsi utama yang disediakan oleh sistem tanpa menjelaskan proses internal secara detail. Dengan adanya *use case diagram*, pengembang dapat memahami kebutuhan sistem dari sudut pandang pengguna secara lebih jelas dan terstruktur.

Use Case Diagram juga berfungsi untuk mengidentifikasi hubungan antara aktor dan sistem serta mendefinisikan batasan sistem (system boundary). Komponen utama dalam diagram ini meliputi aktor, *use case*, dan relasi di antaranya yang menggambarkan interaksi yang terjadi. Oleh karena itu, *use case diagram* sangat penting dalam tahap perancangan sistem karena membantu memastikan bahwa semua kebutuhan fungsional telah teridentifikasi sebelum sistem diimplementasikan.

Use Case Diagram (Diagram Kasus Penggunaan) adalah diagram dalam UML yang digunakan untuk menggambarkan interaksi antara aktor (pengguna atau sistem luar) dengan sistem yang akan dibuat. Diagram ini berfokus pada apa saja fungsi yang disediakan sistem, bukan bagaimana cara kerjanya secara detail[34].



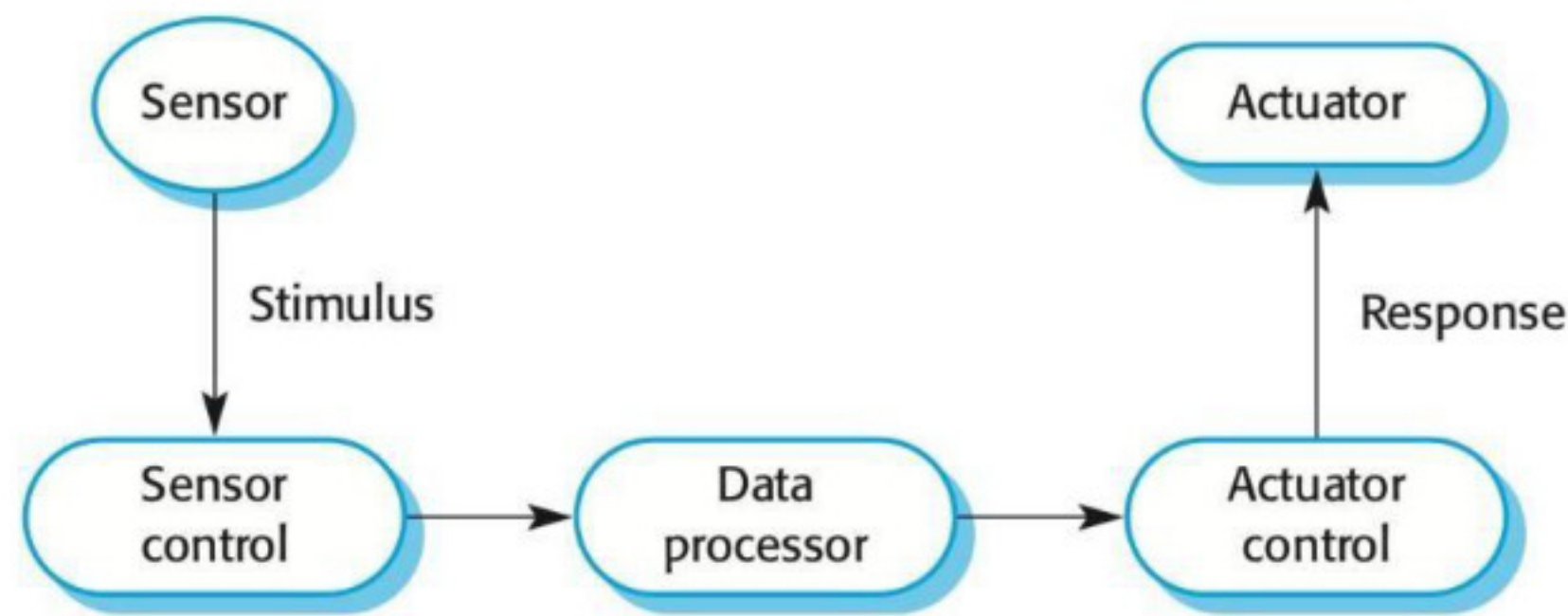
Gambar 2. 10 Use Case Diagram[35]

Pada Gambar 2.10 ditunjukkan *Use Case Diagram* yang digunakan pada penelitian ini. Diagram tersebut menggambarkan interaksi antara pengguna dengan sistem monitoring dan pengendalian berbasis *Internet of Things* (IoT). Pengguna dapat melakukan pemantauan suhu dan kelembapan secara *real-time* melalui aplikasi Blynk, sedangkan sistem secara otomatis mengendalikan proses *micro-spraying* berdasarkan data yang diperoleh dari sensor DHT22.

2.3.2 Diagram Activity

Activity diagram digunakan untuk menggambarkan alur kerja sistem dari awal hingga akhir. Diagram ini menunjukkan proses pembacaan sensor, pengambilan keputusan, hingga aktivasi aktuator. Diagram Aktivitas (*Activity Diagram*) merupakan salah satu jenis diagram dalam *Unified Modeling Language* (UML) yang digunakan untuk menggambarkan alur kerja atau proses yang terjadi dalam suatu sistem dari awal hingga akhir. Diagram ini menunjukkan urutan aktivitas, proses pengambilan keputusan, serta hubungan antar aktivitas yang terjadi dalam sistem sehingga memudahkan pengembang dalam memahami proses kerja sistem yang dirancang. *Activity diagram* digunakan untuk memvisualisasikan aliran aktivitas atau workflow yang terjadi dalam suatu sistem atau proses bisnis secara sistematis.

Activity diagram merupakan diagram dalam UML yang digunakan untuk menggambarkan aliran kerja atau aktivitas dalam suatu sistem atau proses. Diagram ini menyajikan rangkaian kegiatan, tindakan, serta keputusan yang terjadi sepanjang proses sistem berjalan sehingga memudahkan pengembang dalam memahami proses sistem yang dirancang[36].



Gambar 2. 11 *Activity Diagram*[37]

Pada Gambar 2.11 ditunjukkan *Activity Diagram* yang menggambarkan alur kerja sistem monitoring dan pengendalian berbasis *Internet of Things* (IoT). Proses diawali dengan pembacaan suhu dan kelembapan oleh sensor DHT22, kemudian data diproses oleh Arduino Uno untuk menentukan kondisi berdasarkan nilai *set point*. Selanjutnya sistem mengaktifkan atau menonaktifkan pompa air melalui *relay* dan mengirimkan data hasil monitoring ke aplikasi Blynk agar dapat dipantau secara *real-time* oleh pengguna.

2.4 Black Box Testing

Black Box Testing merupakan metode pengujian perangkat lunak yang dilakukan dengan menguji fungsi sistem berdasarkan masukan (*input*) dan keluaran (*output*) tanpa memperhatikan struktur kode program. Tujuan utama metode ini adalah memastikan bahwa setiap fungsi sistem telah berjalan sesuai dengan spesifikasi dan kebutuhan pengguna. Pengujian dilakukan dengan memberikan sejumlah skenario masukan kemudian membandingkan hasil yang diperoleh dengan hasil yang diharapkan. Apabila keluaran sistem sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan, maka fungsi tersebut dinyatakan berhasil.[38].

Dalam pengembangan sistem berbasis *Internet of Things* (IoT), *Black Box Testing* banyak digunakan untuk menguji integrasi antara sensor, mikrokontroler, modul komunikasi, dan aktuator. Pengujian dilakukan terhadap setiap fungsi utama sistem, seperti pembacaan data sensor, proses pengiriman data ke platform IoT, pengendalian aktuator berdasarkan nilai ambang (*set point*), serta tampilan informasi pada aplikasi monitoring. Melalui metode ini dapat diketahui apakah setiap komponen telah bekerja sesuai dengan logika sistem yang dirancang[39].