

# Sensor Suhu dan Kelembaban untuk Green House Menggunakan Wemos D1 Mini dan Protokol MQTT

Sudarno<sup>1</sup> Agus Haryawan<sup>2</sup> Taman Ginting<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Elektronika, Politeknik Pratama Mulia Surakarta

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Elektronika, Politeknik Pratama Mulia Surakarta

<sup>3</sup>Program Studi Manajemen Informatika, Politeknik Pratama Mulia Surakarta

email: [1isusay@gmail.com](mailto:1isusay@gmail.com), [2aharyawan@gmail.com](mailto:2aharyawan@gmail.com) [3ginting79@gmail.com](mailto:3ginting79@gmail.com)

## ABSTRACT

Modern greenhouses require a reliable real-time environmental monitoring system that can be seamlessly integrated with cloud-based services to support precision agriculture and smart farming applications. This research presents the design and implementation of an Internet of Things (IoT)-based monitoring system for greenhouse environments using a Wemos D1 Mini microcontroller powered by the ESP8266 platform. The system is designed to monitor key environmental parameters, including temperature, humidity, and soil moisture, which are essential for maintaining optimal plant growth conditions.

The communication between the IoT device and the backend system is implemented using the Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) protocol, selected for its lightweight architecture, low bandwidth consumption, and suitability for resource-constrained devices. Sensor data are transmitted periodically to an MQTT broker via a WiFi network with a publishing interval of two seconds. The system architecture follows a publish-subscribe communication model, allowing efficient data distribution, scalability, and support for multiple IoT devices within a greenhouse ecosystem.

The research methodology includes hardware configuration, firmware development, MQTT communication setup, and system testing under continuous operation. The experimental results show that the proposed system is capable of delivering telemetry data in a stable and consistent manner, with minimal latency and reliable connectivity. The implementation also supports device status monitoring through the Last Will and Testament (LWT) mechanism, enabling automatic detection of device disconnection.

Overall, the proposed system demonstrates the feasibility of using MQTT-based IoT architecture for greenhouse monitoring applications. The system supports scalability and interoperability, making it suitable as a foundational module for the GreenCloud multi-device IoT platform and future smart agriculture solutions that require real-time data acquisition and cloud integration.

## INTISARI

Greenhouse modern memerlukan sistem monitoring lingkungan yang mampu bekerja secara real-time serta mudah diintegrasikan dengan layanan berbasis cloud guna mendukung konsep pertanian presisi dan smart agriculture. Penelitian ini membahas perancangan dan implementasi sistem monitoring lingkungan berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler Wemos D1 Mini (ESP8266). Sistem ini dirancang untuk memantau parameter lingkungan utama yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman, yaitu suhu, kelembaban udara, dan kelembaban tanah.

Pengiriman data dari perangkat IoT ke sistem backend dilakukan menggunakan protokol Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) yang memiliki karakteristik ringan, efisien dalam penggunaan bandwidth, serta sesuai untuk perangkat dengan sumber daya terbatas. Data sensor dikirimkan secara periodik melalui jaringan WiFi ke broker MQTT dengan interval publikasi setiap 2 detik. Arsitektur sistem menerapkan model komunikasi publish-subscribe, sehingga memungkinkan sistem untuk dikembangkan menjadi ekosistem multi-perangkat yang bersifat skalabel dan fleksibel.

Metodologi penelitian meliputi perancangan perangkat keras, pengembangan firmware, konfigurasi komunikasi MQTT, serta pengujian sistem secara kontinu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan data telemetry sensor secara stabil dan berkelanjutan dengan latensi yang rendah. Selain itu, sistem mendukung fitur pemantauan status perangkat melalui mekanisme Last Will and Testament (LWT), yang memungkinkan pendeteksian otomatis ketika perangkat mengalami gangguan koneksi atau tidak aktif.

Berdasarkan hasil penelitian, sistem monitoring greenhouse berbasis MQTT ini dinilai mampu mendukung kebutuhan monitoring lingkungan secara real-time dan dapat dijadikan sebagai modul dasar dalam pengembangan platform GreenCloud IoT untuk aplikasi smart agriculture. Sistem ini juga memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut dengan integrasi layanan cloud, analisis data, serta otomasi pengendalian lingkungan greenhouse.

**Kata kunci:** Internet of Things, MQTT, Wemos D1 Mini, Sensor Suhu dan Kelembaban, Greenhouse, Smart Agriculture.

## I. Pendahuluan

Greenhouse merupakan sistem budidaya tertutup yang dirancang untuk mengendalikan kondisi lingkungan mikro secara presisi guna mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal. Pengendalian parameter lingkungan dalam greenhouse diperlukan untuk menjaga kestabilan proses fisiologis tanaman, seperti fotosintesis, transpirasi, dan respirasi. Dalam sistem greenhouse konvensional,

pengontrolan lingkungan masih banyak dilakukan secara manual, sehingga memiliki keterbatasan dalam hal ketepatan waktu, konsistensi, serta respon terhadap perubahan kondisi lingkungan yang dinamis.

Implementasi sistem otomasi pada greenhouse bertujuan untuk meningkatkan efisiensi operasional dan keandalan pengontrolan lingkungan. Sistem otomatis mampu melakukan akuisisi data sensor secara kontinu, memproses data secara lokal maupun terdistribusi, serta mengambil keputusan

berbasis logika kontrol atau aturan tertentu. Parameter lingkungan yang umum dikendalikan dalam sistem greenhouse meliputi suhu udara, kelembaban udara, intensitas cahaya, kelembaban tanah, serta sistem ventilasi dan irigasi. Di antara parameter tersebut, suhu dan kelembaban udara memiliki karakteristik yang sangat dinamis dan saling berkorelasi, sehingga memerlukan pemantauan dan pengendalian yang presisi dan real-time.

Pengukuran suhu dan kelembaban udara dilakukan menggunakan sensor lingkungan digital yang mampu memberikan keluaran data dalam format terkalibrasi secara langsung. Sensor suhu dan kelembaban seperti DHT22 banyak digunakan dalam aplikasi Internet of Things karena memiliki resolusi yang cukup tinggi, stabilitas pembacaan yang baik, serta antarmuka digital yang sederhana. Data hasil pembacaan sensor selanjutnya menjadi masukan utama sistem dalam menentukan kondisi lingkungan greenhouse secara aktual.

Pemrosesan data sensor dan pengelolaan komunikasi dilakukan oleh mikrokontroler. ESP32 merupakan mikrokontroler yang sangat sesuai untuk aplikasi greenhouse cerdas karena memiliki prosesor dual-core, memori yang cukup besar, serta modul WiFi terintegrasi. Kemampuan konektivitas nirkabel tersebut memungkinkan ESP32 berfungsi sebagai node IoT yang dapat mengirimkan data sensor langsung ke server atau cloud platform tanpa membutuhkan modul tambahan. Selain itu, ESP32 mendukung multitasking melalui FreeRTOS, sehingga mampu mengelola pembacaan sensor dan komunikasi jaringan secara paralel.

Pada sisi komunikasi data, sistem IoT greenhouse membutuhkan protokol yang efisien, ringan, dan andal. Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) merupakan protokol komunikasi berbasis TCP/IP yang dirancang khusus untuk perangkat dengan keterbatasan sumber daya dan kondisi jaringan yang tidak selalu stabil. MQTT menerapkan arsitektur publish-subscribe dengan broker sebagai perantara komunikasi, sehingga perangkat IoT tidak perlu melakukan koneksi langsung antar-node. Model ini memungkinkan sistem greenhouse dikembangkan secara modular, mendukung multi-node sensor, serta mempermudah integrasi dengan sistem monitoring dan analisis data.

Dengan menggunakan MQTT, data suhu dan kelembaban dapat dipublikasikan secara periodik ke broker dengan overhead data yang minimal. Selain itu, fitur Quality of Service (QoS) dan Last Will and Testament (LWT) pada MQTT meningkatkan keandalan sistem dengan menjamin pengiriman pesan serta memungkinkan pendeteksian kondisi terputusnya perangkat IoT secara otomatis. Hal ini sangat penting dalam sistem greenhouse yang memerlukan pemantauan berkelanjutan tanpa intervensi manual.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini berfokus pada perancangan sistem monitoring suhu dan kelembaban greenhouse berbasis Internet of Things dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 dan protokol MQTT. Sistem yang dikembangkan dirancang untuk bekerja secara real-time, memiliki tingkat keandalan komunikasi yang tinggi, serta

dapat dikembangkan ke tingkat pengendalian otomatis sebagai bagian dari sistem greenhouse cerdas berbasis cloud..

## II. Tinjauan Pustaka

### A. Greenhouse dan Pengendalian Lingkungan Tanam

Greenhouse merupakan sistem budidaya tanaman dalam lingkungan tertutup yang memungkinkan pengendalian parameter mikroklimat secara terencana dan terukur. Tujuan utama pengendalian lingkungan greenhouse adalah menjaga kondisi ideal bagi pertumbuhan tanaman agar proses fisiologis seperti fotosintesis, respirasi, dan transpirasi dapat berlangsung secara optimal. Pengendalian lingkungan yang tidak sesuai dapat menyebabkan penurunan produktivitas tanaman, stres tanaman, serta peningkatan risiko serangan penyakit [1].

Dalam greenhouse modern, parameter lingkungan yang umumnya dikontrol meliputi suhu udara, kelembaban udara, intensitas cahaya, kelembaban tanah, dan sirkulasi udara. Di antara parameter tersebut, suhu dan kelembaban udara merupakan dua parameter utama yang sangat menentukan kestabilan kondisi mikroklimat di dalam greenhouse. Oleh karena itu, sistem greenhouse modern memerlukan mekanisme monitoring dan pengendalian suhu serta kelembaban yang presisi dan berkelanjutan.

### B. Otomasi Greenhouse dan Sistem Kontrol

Pengendalian greenhouse secara manual memiliki keterbatasan dalam merespons perubahan kondisi lingkungan yang cepat dan dinamis. Untuk mengatasi hal tersebut, sistem otomasi greenhouse dikembangkan dengan memanfaatkan prinsip sistem kontrol. Sistem kontrol pada greenhouse bertujuan untuk menjaga variabel proses (suhu dan kelembaban) agar berada pada nilai setpoint yang telah ditentukan.

Pendekatan sistem kontrol pada greenhouse umumnya dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu **rule-based control** dan **kontrol berbasis PID (Proportional-Integral-Derivative)**. Rule-based control menggunakan aturan logika sederhana berbasis kondisi tertentu, misalnya jika suhu melebihi batas atas maka kipas dinyalakan, atau jika kelembaban berada di bawah ambang batas maka penyemprot kabut diaktifkan. Metode ini relatif mudah diimplementasikan dan cocok untuk sistem dengan kompleksitas rendah hingga menengah.

Kontrol PID merupakan metode kontrol linier yang mengombinasikan tiga komponen pengendali, yaitu proporsional, integral, dan derivatif, untuk menghasilkan sinyal kontrol yang lebih halus dan stabil. Penggunaan PID pada greenhouse bertujuan untuk meminimalkan error antara nilai aktual suhu atau kelembaban dengan nilai setpoint, sehingga fluktuasi lingkungan dapat ditekan secara signifikan. Metode PID banyak digunakan pada sistem industri karena kestabilan dan keandalannya dalam menghadapi gangguan eksternal [2].

### C. Internet of Things (IoT) dalam Sistem Monitoring Greenhouse

Internet of Things (IoT) merupakan konsep integrasi antara perangkat fisik, sensor, jaringan komunikasi, dan sistem pemrosesan data untuk memungkinkan pertukaran data secara otomatis. Penerapan IoT pada sistem greenhouse memungkinkan monitoring kondisi lingkungan dilakukan secara real-time dan jarak jauh. Data sensor yang dikumpulkan dapat disimpan, dianalisis, dan digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan kontrol [3].

Arsitektur IoT pada greenhouse umumnya terdiri dari node sensor, mikrokontroler sebagai unit pemrosesan, protokol komunikasi data, server atau broker data, serta aplikasi monitoring. Arsitektur ini memungkinkan sistem dikembangkan menjadi sistem multi-node dan multi-greenhouse dengan tingkat skalabilitas tinggi.

### D. Sensor Suhu dan Kelembaban

Sensor suhu dan kelembaban merupakan komponen utama dalam sistem monitoring dan kontrol greenhouse. Sensor ini berfungsi sebagai elemen pengukuran yang merepresentasikan kondisi lingkungan aktual di dalam greenhouse. Sensor suhu dan kelembaban digital seperti DHT22 banyak digunakan karena memiliki resolusi yang cukup baik, konsumsi daya rendah, serta kemudahan integrasi dengan mikrokontroler [4]. Data yang diperoleh dari sensor suhu dan kelembaban digunakan sebagai masukan bagi algoritma kontrol, baik pada sistem rule-based maupun PID. Akurasi dan stabilitas sensor menjadi faktor penting karena kesalahan pengukuran dapat langsung berdampak pada keakuratan pengendalian sistem.

### E. Mikrokontroler ESP32 sebagai Pengendali Sistem

ESP32 merupakan mikrokontroler yang banyak digunakan pada aplikasi IoT karena memiliki prosesor berperforma tinggi, konektivitas WiFi terintegrasi, serta dukungan sistem operasi real-time (FreeRTOS). Dalam sistem greenhouse, ESP32 berperan sebagai pusat akuisisi data sensor, pemrosesan logika kontrol, serta pengelola komunikasi data ke sistem eksternal [5].

ESP32 mampu menjalankan algoritma rule-based maupun PID secara lokal, sehingga keputusan pengendalian dapat dilakukan secara real-time tanpa ketergantungan penuh pada server atau cloud. Hal ini meningkatkan keandalan sistem, khususnya ketika terjadi gangguan jaringan.

### F. Protokol MQTT pada Sistem Monitoring dan Kontrol Greenhouse

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) merupakan protokol komunikasi berbasis publish-subscribe yang dirancang untuk sistem dengan keterbatasan sumber daya dan kebutuhan komunikasi real-time. MQTT sangat sesuai untuk sistem IoT greenhouse karena memiliki overhead data yang rendah dan mendukung pengiriman data secara periodik maupun event-based [6].

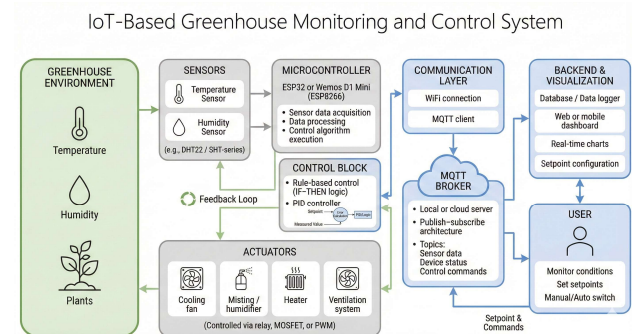
Dalam sistem monitoring greenhouse, data suhu dan kelembaban dipublikasikan oleh node ESP32 ke broker MQTT. Data tersebut kemudian dapat digunakan oleh sistem monitoring maupun modul kontrol tingkat lanjut. MQTT juga

mendukung fitur Quality of Service (QoS) dan Last Will and Testament (LWT) yang meningkatkan keandalan sistem dalam mendeteksi kegagalan node IoT.

### G. Integrasi Sistem Kontrol dan IoT pada Greenhouse

Integrasi antara sistem kontrol (rule-based atau PID) dengan arsitektur IoT menghasilkan sistem greenhouse cerdas yang mampu melakukan monitoring dan pengendalian secara otomatis dan adaptif. Data sensor yang dikirim melalui MQTT tidak hanya digunakan untuk monitoring, tetapi juga dapat menjadi dasar pengambilan keputusan kontrol otomatis baik di sisi edge device (ESP32) maupun di sisi server. Model ini memungkinkan pengembangan sistem greenhouse yang lebih efisien, scalable, dan siap diintegrasikan dengan analisis data lanjutan atau kecerdasan buatan [7].

### H. Cara Kerja Greenhouse Monitoring system berbasis IOT



Gambar 1. Gambar Diagram Blok Greenhouse Monitoring System

### A. Deskripsi Blok Utama Sistem

#### 1) Lingkungan Greenhouse

- Berisi: tanaman, udara, kelembaban, suhu, dan media tanam.
- Parameter yang dikontrol:
  - Suhu udara** di dalam greenhouse
  - Kelembaban relatif (RH)**

#### 2) Sensor Lingkungan

- Sensor suhu & kelembaban (misalnya DHT22/SHT31/DS18B20+RH sensor)
- Dipasang di posisi representatif di dalam greenhouse.
- Output: sinyal digital (data suhu, RH) → dikirim ke mikrokontroler.

#### 3) Mikrokontroler (ESP32 / Wemos D1)

Fungsi utama:

- Akuisisi data sensor
  - Membaca suhu & kelembaban secara periodik (misal setiap 2 detik).
- Blok Pengolahan & Kontrol
  - Menghitung **error**:
    - $error\_suhu = setpoint\_suhu - suhu\_aktual$
    - $error\_RH = setpoint\_RH - RH\_aktual$
  - Menjalankan algoritma:
    - PID control** (untuk suhu, misalnya mengatur kecepatan fan/heater) atau
    - Rule-based control (IF-THEN)** untuk kelembaban:

- IF kelembaban < batas bawah → nyalakan misting
- IF kelembaban > batas atas → matikan misting, nyalakan fan

## 2. Blok Komunikasi MQTT

- MQTT Client tertanam di ESP32/Wemos D1.
- Mengirim data telemetry:
  - **Topik**
  - contoh:
    - greencloud/<device\_id>/sensors
    - greencloud/<device\_id>/status
- (Opsional) Menerima perintah dari server:
  - **Topik**
  - kontrol: greencloud/<device\_id>/control

## 4) Aktuator (Output Kontrol)

- **Kipas (fan) sirkulasi / exhaust**
  - Untuk menurunkan suhu & kelembaban.
- **Misting / sprayer**
  - Untuk menaikkan kelembaban.
- **Heater / pemanas** (jika ada)
  - Untuk menaikkan suhu.
- **Ventilasi otomatis / motorized window** (opsional).

Aktuator digerakkan via:

- **Relay module**
  - **MOSFET driver**
  - **PWM** (untuk kecepatan fan, misalnya)
- Nilai output PID / rule-based → dikonversi ke:
- **ON/OFF (relay)**
  - **Duty cycle PWM** (kecepatan fan, pompa, dll.)

## 5) Jaringan WiFi & MQTT Broker

- **WiFi AP / router di area greenhouse.**
- **MQTT Broker (Mosquitto, EMQX, dll.)**
  - Bisa di server lokal (PC, Raspberry Pi, CasaOS) atau di cloud.
- **Menerima data telemetry dari ESP32:**
  - Menyimpan ke database (InfluxDB, PostgreSQL, dsb.)
  - Meneruskan ke **dashboard** / aplikasi monitoring.

## 6) Server Aplikasi & Dashboard

- **Backend / API:**
  - Menerima data dari MQTT broker / database.
- **Dashboard Web / Mobile:**
  - Menampilkan tren suhu & kelembaban.
  - Menampilkan status aktuator.
  - Mengatur setpoint suhu & kelembaban (dikirim balik via MQTT).

## 7) User / Operator

- **Mengatur:**
  - Setpoint suhu & kelembaban.
  - Mode kontrol (otomatis / manual).
- **Memantau:**
  - Grafik parameter lingkungan.
  - Status perangkat & alarm (misalnya suhu di luar batas).

### B. Penelitian yang Relevan

- Penelitian oleh Battikh et al. (2023) pada Greenhouse Automation using ESP32 menunjukkan bahwa

penggunaan mikrokontroler ESP32 dengan sensor suhu, kelembaban udara, tanah, dan cahaya dapat meningkatkan reliabilitas dan akurasi lingkungan greenhouse. Temuan ini mendukung implementasi sistem berbasis ESP32 pada proyek ini, terutama untuk kontrol otomatis kondisi lingkungan.

- Studi tinjauan literatur oleh Abou-Mehdi-Hassani et al. (2025) menekankan bahwa IoT adalah tulang punggung sistem greenhouse pintar modern dan memberikan kerangka konseptual untuk integrasi multi-parameter lingkungan serta sustainability. Hal ini relevan untuk mendasari kerangka teoritis dan justifikasi pentingnya otomatisasi greenhouse dalam konteks smart farming.
- Penelitian pada mini-greenhouse untuk tanaman bayam (Putri dkk., 2024) membuktikan bahwa sistem IoT + kontrol otomatis efektif dalam meningkatkan efisiensi pemeliharaan dan mendukung pertumbuhan optimal tanaman — sebagai bukti nyata bahwa pendekatan ini bisa diterapkan pada skala kecil maupun besar.
- Penelitian pada sistem irigasi pintar dan pemantauan iklim dengan ESP32 (202?) memperlihatkan bagaimana sensor tanah + sensor iklim bisa digabung untuk fungsi irigasi otomatis dan monitoring lingkungan — relevan bagi bagian kontrol kelembaban tanah & udara pada greenhouse Anda.
- Studi pengembangan smart greenhouse berbasis IoT dengan sensor DHT22, kelembaban tanah, cahaya, dan aktuator (pompa, kipas, lampu) membuktikan bahwa automasi berbasis aturan memungkinkan stabilisasi parameter lingkungan secara otomatis, penelitian ini yang menjadi salah satu latar belakang dari penulisan jurnal ini.

## III. Metodologi Penelitian

### A. Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian terapan (applied research) dengan tujuan merancang, mengimplementasikan, dan menguji sebuah sistem monitoring dan pengendalian lingkungan greenhouse berbasis Internet of Things (IoT). Fokus penelitian diarahkan pada pengembangan sistem yang dapat bekerja secara nyata dalam kondisi operasional greenhouse, bukan hanya pada kajian teoritis.

Berdasarkan karakteristik data dan metode analisisnya, penelitian ini juga dikategorikan sebagai penelitian deskriptif kuantitatif, karena hasil pengujian sistem dianalisis menggunakan data numerik berupa nilai suhu, kelembaban udara, serta respons sistem kontrol terhadap perubahan kondisi lingkungan.

### B. Pendekatan Penelitian

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan rekayasa sistem (engineering approach). Pendekatan ini menekankan pada proses perancangan, implementasi, dan evaluasi kinerja sistem secara bertahap. Pendekatan rekayasa dipilih karena penelitian ini melibatkan integrasi beberapa komponen teknis, yaitu sensor,

mikrokontroler, algoritma kontrol, serta sistem komunikasi data berbasis MQTT.

Selain itu, penelitian ini menerapkan pendekatan eksperimental, di mana sistem yang telah dirancang diuji secara langsung melalui serangkaian pengujian untuk mengamati performa monitoring dan pengontrolan suhu serta kelembaban greenhouse. Hasil pengujian digunakan untuk mengevaluasi kestabilan sistem, keandalan komunikasi, dan efektivitas algoritma kontrol.

### C. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis, sebagai berikut:

#### a. Analisis Kebutuhan Sistem

Tahap awal penelitian dimulai dengan melakukan analisis kebutuhan sistem greenhouse, meliputi parameter lingkungan yang akan dimonitor dan dikontrol, batasan nilai suhu dan kelembaban, serta kebutuhan komunikasi data. Pada tahap ini también ditentukan perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan, termasuk sensor, mikrokontroler ESP32, dan protokol komunikasi MQTT.

#### b. Perancangan Sistem

Tahap perancangan mencakup perancangan arsitektur sistem IoT, diagram blok cara kerja sistem, serta alur data sensor dan kontrol. Pada tahap ini juga dirancang algoritma kontrol yang digunakan, baik berupa rule-based control maupun kontrol PID, yang akan dijalankan pada mikrokontroler. Perancangan sistem dilakukan dengan mempertimbangkan modularitas dan skalabilitas sistem untuk pengembangan selanjutnya.

#### c. Implementasi Perangkat Keras

Implementasi perangkat keras meliputi perakitan sensor suhu dan kelembaban, mikrokontroler ESP32, serta rangkaian penggerak aktuator seperti kipas atau sistem misting. Sensor dihubungkan ke mikrokontroler sesuai dengan spesifikasi teknis masing-masing komponen, dan sistem diuji secara fungsional untuk memastikan setiap perangkat bekerja dengan baik.

#### d. Implementasi Perangkat Lunak

Pada tahap ini dilakukan pengembangan firmware pada mikrokontroler ESP32 yang mencakup pembacaan data sensor, pemrosesan data, penerapan algoritma kontrol, serta komunikasi data menggunakan protokol MQTT. Firmware dikembangkan untuk mendukung pengiriman data telemetry secara periodik dan penerimaan perintah kontrol dari sistem eksternal.

#### e. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi performa monitoring dan kontrol suhu serta kelembaban. Pengujian mencakup pengamatan respons sistem terhadap perubahan kondisi lingkungan, kestabilan nilai suhu dan kelembaban terhadap setpoint, serta keandalan pengiriman data melalui MQTT. Data hasil pengujian dicatat dan dianalisis secara kuantitatif.

#### f. Analisis dan Evaluasi

Data yang diperoleh dari hasil pengujian dianalisis untuk menilai efektivitas sistem monitoring dan kontrol yang dikembangkan. Parameter evaluasi meliputi kestabilan sistem, kecepatan respons kontrol, serta kesinambungan pengiriman data. Hasil analisis digunakan sebagai dasar dalam penarikan kesimpulan dan rekomendasi pengembangan sistem.

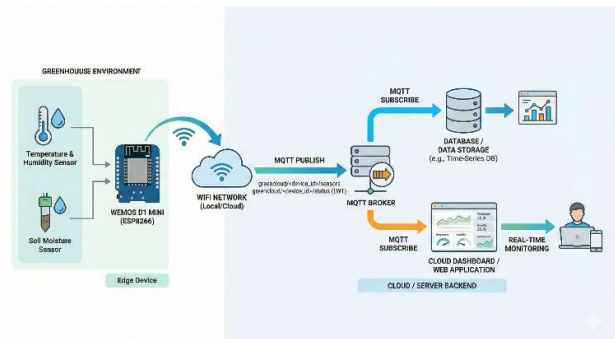
### D. Teknik Analisis Data

Data dalam penelitian ini diperoleh melalui hasil pembacaan sensor suhu dan kelembaban secara real-time selama proses pengujian sistem. Data dikumpulkan dalam bentuk nilai numerik yang dikirimkan melalui broker MQTT dan disimpan pada server atau sistem monitoring.

Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan nilai aktual suhu dan kelembaban terhadap nilai setpoint yang telah ditetapkan. Selain itu, dilakukan analisis stabilitas sistem kontrol dengan mengamati fluktuasi parameter lingkungan sebelum dan sesudah sistem kontrol diaktifkan. Hasil analisis digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem dan tingkat keandalan penerapan algoritma kontrol pada greenhouse berbasis IoT.

## IV. Hasil dan Pembahasan

Sebelum masuk ke cara kerja dijelaskan dulu arsitektur sistem monitoring greenhouse berbasis Internet of Things (IoT) yang menggunakan mikrokontroler Wemos D1 Mini (ESP8266) dan protokol komunikasi MQTT. Arsitektur sistem ini dibagi menjadi dua lapisan utama, yaitu edge device dan cloud/server backend, yang saling terhubung melalui jaringan WiFi dan broker MQTT.



Gambar 2. Arsitektur sistem monitoring greenhouse berbasis Internet of Things

### Lapisan Edge Device (Greenhouse Environment)

Pada sisi edge device, sistem terdiri dari lingkungan greenhouse yang dilengkapi dengan sensor suhu dan kelembaban udara serta sensor kelembaban tanah. Sensor-sensor ini berfungsi sebagai elemen pengukuran (sensing) yang membaca kondisi lingkungan mikro secara langsung. Data hasil pembacaan sensor dikirimkan ke mikrokontroler Wemos D1 Mini (ESP8266) sebagai unit pemrosesan utama.

Wemos D1 Mini berperan dalam melakukan akuisisi data sensor secara periodik, pengolahan awal data, serta pengemasan data ke dalam format payload yang sesuai. Pemilihan ESP8266 didasarkan pada kemampuannya yang telah terintegrasi dengan modul WiFi, ukuran yang ringkas, serta konsumsi daya yang relatif rendah, sehingga cocok digunakan sebagai node IoT pada aplikasi greenhouse.

### Lapisan Jaringan WiFi dan Transport Data

Setelah data sensor diproses oleh mikrokontroler, data dikirimkan melalui jaringan WiFi, baik jaringan lokal maupun jaringan berbasis cloud. Pada tahap ini, Wemos D1 Mini bertindak sebagai MQTT client yang memanfaatkan protokol MQTT untuk mengirimkan data secara publish-subscribe.

Data telemetry sensor dipublikasikan ke broker MQTT menggunakan topik tertentu, misalnya:

- greencloud/<device\_id>/sensors untuk data suhu, kelembaban, dan kelembaban tanah
- greencloud/<device\_id>/status untuk status perangkat menggunakan mekanisme Last Will and Testament (LWT)

Penggunaan MQTT pada lapisan ini memberikan keuntungan berupa overhead data yang rendah, latensi yang kecil, serta keandalan komunikasi yang tinggi meskipun berada pada jaringan dengan sumber daya terbatas. Hal ini sangat relevan untuk sistem monitoring greenhouse yang membutuhkan pengiriman data secara berkala dan berkelanjutan.

### Lapisan Cloud / Server Backend

Pada sisi cloud atau server backend, broker MQTT berfungsi sebagai pusat distribusi data. Broker menerima data yang dipublikasikan oleh perangkat edge, kemudian meneruskannya ke klien yang berlangganan (subscribe) pada topik yang bersesuaian. Arsitektur ini memungkinkan sistem untuk dikembangkan menjadi multi-device dan multi-greenhouse tanpa perlu perubahan besar pada sisi perangkat keras.

Data sensor yang diterima oleh broker MQTT selanjutnya diteruskan ke dua layanan utama, yaitu database penyimpanan data dan aplikasi dashboard. Database, khususnya database berbasis time-series, digunakan untuk menyimpan data historis suhu, kelembaban, dan kelembaban tanah. Penyimpanan data ini memungkinkan analisis tren jangka panjang serta evaluasi performa sistem greenhouse.

Sementara itu, aplikasi dashboard atau web application berfungsi sebagai antarmuka visualisasi yang menampilkan data sensor secara real-time. Melalui dashboard ini, pengguna dapat memantau kondisi lingkungan greenhouse, melihat grafik perubahan suhu dan kelembaban, serta mengidentifikasi kondisi yang berada di luar batas normal.

### Interaksi Pengguna dan Monitoring Real-Time

Pengguna berinteraksi dengan sistem melalui dashboard cloud atau aplikasi web yang terhubung ke broker MQTT. Alur ini memungkinkan pengguna memperoleh informasi kondisi greenhouse secara real-time tanpa harus berada di lokasi fisik greenhouse. Dengan arsitektur publish-subscribe, satu data yang dikirim dari perangkat edge dapat diakses oleh banyak klien secara bersamaan, baik untuk monitoring maupun untuk integrasi ke sistem lain.

Selain untuk monitoring, arsitektur sistem ini juga membuka peluang pengembangan lanjutan ke arah sistem kontrol tertutup (closed-loop control). Data sensor yang diterima dapat dibandingkan dengan nilai setpoint, kemudian sistem backend atau perangkat edge dapat mengirimkan perintah kendali kembali ke aktuator melalui topik MQTT kontrol. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya berfungsi

sebagai alat monitoring, tetapi juga sebagai fondasi untuk otomasi greenhouse berbasis rule-based control maupun PID

## V. Kesimpulan dan Saran

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, simulasi, dan pembahasan sistem monitoring greenhouse berbasis Internet of Things (IoT) yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem monitoring greenhouse berbasis mikrokontroler Wemos D1 Mini (ESP8266) dan protokol MQTT berhasil dirancang dan direalisasikan secara konseptual, dengan arsitektur yang terdiri dari lapisan edge device, jaringan komunikasi, serta cloud/server backend.
2. Sensor suhu, kelembaban udara, dan kelembaban tanah mampu menyediakan data lingkungan yang dikirimkan secara periodik melalui jaringan WiFi ke broker MQTT menggunakan mekanisme publish-subscribe, sehingga memungkinkan proses monitoring berlangsung secara real-time dan berkelanjutan.
3. Penggunaan protokol MQTT terbukti sesuai untuk aplikasi greenhouse karena memiliki overhead data yang rendah, latensi kecil, serta mendukung sistem yang skalabel dan multi-perangkat, termasuk fitur Last Will and Testament (LWT) untuk memantau status konektivitas perangkat IoT.
4. Berdasarkan simulasi menggunakan data dummy, sistem menunjukkan kestabilan pengiriman data telemetry dengan interval waktu yang konsisten, sehingga layak digunakan sebagai modul dasar sistem monitoring suhu dan kelembaban pada greenhouse.
5. Arsitektur sistem yang dirancang memungkinkan pengembangan lebih lanjut ke arah sistem kontrol tertutup (closed-loop control) dengan menerapkan algoritma rule-based control maupun kontrol PID, sehingga sistem tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring tetapi juga sebagai platform otomasi greenhouse.

### B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan sistem ke depan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan implementasi dan pengujian sistem secara langsung pada lingkungan greenhouse nyata dalam jangka waktu yang lebih panjang, sehingga diperoleh data yang lebih representatif terhadap kondisi operasional di lapangan.
2. Sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan modul kontrol otomatis berbasis **PID** atau **logika fuzzy**, sehingga aktuator seperti kipas, sistem misting, atau pemanas dapat dikendalikan secara adaptif berdasarkan perubahan suhu dan kelembaban.
3. Disarankan untuk menambahkan sensor lingkungan lainnya, seperti sensor intensitas cahaya atau sensor kadar CO<sub>2</sub>, guna memperoleh gambaran kondisi lingkungan greenhouse yang lebih komprehensif.



4. Integrasi sistem dengan platform cloud dan database time-series perlu dioptimalkan agar data historis dapat dianalisis lebih lanjut untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis data dan penerapan kecerdasan buatan (AI) pada sistem greenhouse.
5. Pengembangan aspek keamanan komunikasi, seperti penggunaan enkripsi TLS pada MQTT, juga perlu dipertimbangkan untuk meningkatkan keamanan data terutama ketika sistem diimplementasikan pada jaringan publik atau cloud.

### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis sampaikan kepada Tim Politeknosains yang telah meluangkan waktu dan memberikan tempat untuk penerbitan jurnal ini.

### REFERENSI

- [1] **OASIS.** (2014). *MQTT Version 3.1.1 (OASIS Standard)*. OASIS Open. [OASIS Open Documents+1](#)
- [2] **Espressif Systems.** (2014). *ESP8266EX Datasheet*. Espressif Documentation. [Espressif Documentation+1](#)
- [3] **ESP8266 Arduino Core Community.** (n.d.). *ESP8266WiFi library — ESP8266 Arduino Core documentation*. [ESP8266 Arduino Core Documentation+1](#)
- [4] **Knolleary, N.** (n.d.). *PubSubClient: Arduino Client for MQTT (Documentation & API)*. [GitHub+2PubSubClient+2](#)
- [5] **Wardihani, E. D., dkk.** (2024). *Monitoring and Controlling of IoT-Based Greenhouse Parameters With the MQTT Protocol*. Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI), 13(1). <https://doi.org/10.22146/jnteti.v13i1.8564> [ResearchGate](#)
- [6] **Khairina, J., Nurdin, & Fikry, M.** (2025). *Development of an IoT-Based Smart Greenhouse with Fuzzy Logic for Chrysanthemum Cultivation*. (JAIC – artikel PDF). [Jurnal Politeknik Negeri Batam+1](#)
- [7] **Li, H., Guo, Y., Zhao, H., Wang, Y., & Chow, D.** (2021). *Towards automated greenhouse: A state of the art review on greenhouse monitoring methods and technologies based on internet of things*. Computers and Electronics in Agriculture, 191, 106558. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106558> [ResearchGate+1](#)
- [8] **Singh, N., Sharma, A. K., Sarkar, I., Prabhu, S., & Chadaga, K.** (2024). *IoT-based greenhouse technologies for enhanced crop production: a comprehensive study of monitoring, control, and communication techniques*. Systems Science & Control Engineering, 12(1). <https://doi.org/10.1080/21642583.2024.2306825>