

IMPLEMENTASI PROTOKOL MQTT PADA SISTEM MONITORING SMART GREENHOUSE BERBASIS INTERNET OF THINGS UNTUK TANAMAN SUPERFOOD

Iqbal May Aryanto, Erlas Fadilah Rahmatia Putri, Zacky Firmansyah

Teknologi Rekayasa Elektronika, Politeknik Negeri Lampung

Jl. Soekarno Hatta No.10, Rajabasa Raya, Kec. Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Lampung, 35141

iqbalmayaryanto@polinela.ac.id

ABSTRAK

Sektor pertanian modern memerlukan kontrol lingkungan yang presisi untuk meningkatkan hasil panen, namun pemantauan manual pada *greenhouse* sering kali tidak akurat dan tidak efisien. Permasalahan utama dalam sistem pemantauan jarak jauh adalah tingginya penggunaan data serta ketidakstabilan koneksi pada perangkat *Internet of Things* yang memiliki sumber daya terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan protokol *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) sebagai solusi komunikasi data yang ringan dan efisien pada sistem monitoring *smart greenhouse*. Metode penelitian meliputi perancangan perangkat keras menggunakan ESP32 yang terintegrasi dengan sensor BME280 untuk pemantauan suhu, kelembapan, dan tekanan udara serta kendali *LED Grow Light* untuk optimasi cahaya pada sistem budidaya tanpa media tanah. Data sensor dikirimkan melalui broker MQTT untuk dianalisis secara *real-time*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa protokol MQTT berhasil mentransmisikan data dengan rasio keberhasilan pengiriman paket mencapai 99% dan latensi di bawah 100 ms. Hasil ini membuktikan bahwa penerapan MQTT efektif dalam menjaga stabilitas pemantauan kondisi iklim mikro *greenhouse* secara berkelanjutan dan mendukung pemantauan pertumbuhan tanaman secara akurat melalui perangkat pintar.

Kata Kunci: Esp32, Sensor BME280, Smart Greenhouse, Internet of Things (IoT), MQTT.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah mengakibatkan perubahan besar di banyak sektor, termasuk dalam bidang pertanian. Implementasi teknologi digital dalam pertanian dikenal dengan sebutan pertanian cerdas, yang bertujuan untuk meningkatkan hasil, efisiensi, dan kualitas produksi tanaman. Salah satu contoh dari pertanian cerdas adalah penggunaan *smart greenhouse*, yang memungkinkan pemantauan dan pengaturan kondisi lingkungan tanaman secara rutin dan berkesinambungan [1].

Greenhouse berfungsi penting dalam menciptakan kondisi ideal bagi pertumbuhan tanaman dengan cara mengatur suhu, kelembapan, dan cahaya. Meskipun demikian, dalam pelaksanaannya, pengelolaan *greenhouse* sering dilakukan secara manual, yang mengakibatkan pemantauan lingkungan tidak dapat dilakukan secara *real-time*. Situasi ini bisa menimbulkan keterlambatan dalam proses pengambilan keputusan yang mungkin berdampak negatif pada hasil panen [2].

Seiring dengan kemajuan teknologi, *Internet of Things* (IoT) telah menjadi solusi yang banyak digunakan dalam sistem pengawasan *greenhouse*. IoT memungkinkan penggunaan sensor untuk mengumpulkan data lingkungan serta mengirimkan informasi itu melalui jaringan internet, sehingga kondisi *greenhouse* dapat diawasi dari jarak jauh secara langsung.

Beberapa studi menunjukkan bahwa penerapan *Internet of Things* pada sistem *greenhouse* dapat meningkatkan efisiensi dalam pengawasan dan membantu pengelolaan lingkungan tanaman dengan

lebih baik [3]. Penelitian lainnya juga mengungkapkan bahwa sistem pengawasan berbasis IoT mampu meningkatkan ketepatan dalam pengumpulan data lingkungan dan mendukung proses pengambilan keputusan dengan lebih cepat [4].

Dalam sistem *Internet of Things*, proses komunikasi data merupakan elemen yang krusial untuk memastikan kecepatan dan keandalan dalam pengiriman data dari sensor. Salah satu protokol yang umum digunakan dalam sistem IoT adalah *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT). MQTT adalah sebuah protokol komunikasi ringan yang menggunakan model *publish-subscribe*, yang dibuat khusus untuk perangkat dengan sumber daya terbatas dan kondisi jaringan yang tidak selalu stabil. Hal tersebut membuat protokol MQTT sangat cocok dan merekomendasikan untuk digunakan dalam sistem pemantauan *greenhouse* berbasis IoT secara *real-time* [5].

Beberapa studi sebelumnya telah menerapkan protokol MQTT pada sistem pemantauan *greenhouse* dan menunjukkan hasil yang positif, khususnya dalam pengiriman data sensor secara *real-time* dengan latensi rendah serta penggunaan *bandwidth* yang efisien [1]. Selain itu, sistem *smart greenhouse* yang didukung oleh *Internet of Things* telah digunakan untuk berbagai jenis tanaman *hortikultura* dan terbukti efektif dalam menjaga stabilitas kondisi lingkungan tanaman. Pengaturan parameter lingkungan, seperti tingkat pencahayaan, sangat penting untuk mendukung proses fotosintesis tanaman [6].

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih terfokus pada jenis tanaman tertentu seperti anggrek dan tanaman *hortikultura* secara umum.

Penelitian yang secara khusus meneliti penerapan sistem pemantauan *smart greenhouse* berbasis *Internet of Things* dengan menggunakan protokol MQTT untuk tanaman *superfood* seperti tanaman kale masih sangat kurang. Faktanya, tanaman kale memiliki kebutuhan lingkungan yang khusus, sehingga membutuhkan sistem pemantauan secara *realtime* dan berkala.

Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengimplementasikan protokol MQTT dalam sistem pemantauan *smart greenhouse* berbasis *Internet of Things* untuk tanaman kale, agar sistem yang dikembangkan dapat memantau kondisi lingkungan di *greenhouse* dengan cara yang efisien, andal, dan dalam waktu nyata, serta berkontribusi pada pengembangan sistem pertanian pintar berbasis *Internet of Things*.

Rencana penyelesaian masalah dalam penelitian ini dilakukan dengan merancang prototipe menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor BME280 yang terintegrasi dengan protokol MQTT melalui platform Node-RED dan Grafana.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian sebelumnya telah merancang *smart greenhouse* menggunakan *Internet of Things* dengan memanfaatkan sensor BME280 untuk memantau suhu dan kelembaban udara secara langsung. Uji coba yang dilakukan menunjukkan bahwa tingkat kesalahan sangat minim, sehingga sensor BME280 dianggap efisien dan tepat untuk memantau keadaan lingkungan dalam sistem *greenhouse* berbasis *Internet of Things* [7].

studi lain merancang *smart greenhouse* berbasis *Internet of Things* menggunakan mikrokontroler ESP32 untuk mengendalikan pencahayaan tanaman secara otomatis dengan *led grow light*. Sistem mampu menjaga kondisi lingkungan tanaman, namun belum menekankan penggunaan protokol komunikasi ringan [8].

mengembangkan sistem *greenhouse* berbasis ESP32 dan *Internet of Things* melalui protokol MQTT yang dapat mengirimkan informasi suhu dan kelembaban secara *real-time* dengan latensi rendah dan efisiensi *bandwidth* tinggi [9].

Penelitian lainnya dilakukan untuk membandingkan implementasi ESP32 dengan protokol MQTT dan HTTP dalam *greenhouse*. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa MQTT lebih efisien dan memiliki tingkat keandalan yang lebih tinggi dibandingkan HTTP, terutama pada jaringan yang memiliki batasan *bandwidth* [3].

2.2. Smart Greenhouse

Greenhouse adalah struktur untuk menanam yang terbuat dari bahan transparan yang memungkinkan pengaturan suhu, kelembapan, dan pencahayaan yang terkontrol. Ini bertujuan untuk menciptakan kondisi ideal serta melindungi tanaman dari cuaca buruk dan gangguan dari lingkungan [9].

2.3. Tanaman Superfood

Tanaman *superfood* merupakan tumbuhan yang memiliki kandungan gizi melimpah, seperti vitamin, mineral, antioksidan, serat, dan fitokimia, yang menawarkan keuntungan kesehatan yang lebih besar daripada makanan biasa. Kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) dipilih sebagai fokus penelitian karena nilai ekonominya yang tinggi dan semakin meningkatnya permintaan di pasar. Namun, kale sensitif terhadap perubahan suhu dan kelembapan, sehingga diperlukan sistem pemantauan lingkungan yang tepat untuk mendukung pertumbuhan yang optimal [10].

2.4. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) berfungsi dengan menggabungkan perangkat keras, perangkat lunak, sensor, dan jaringan internet untuk menciptakan sistem yang dapat mengirim, menerima, dan memproses data secara otomatis. Selain itu, *Internet of Things* telah menjadi teknologi yang signifikan di berbagai bidang, termasuk pertanian dan pengelolaan lingkungan. Ini terjadi karena *Internet of Things* dapat memberikan pemantauan otomatis, pertukaran data secara langsung, serta pengendalian sistem dari jauh, yang pada gilirannya meningkatkan efisiensi dan kemudahan dalam proses pemantauan dan pengelolaan sistem [11].

2.5. Protokol MQTT

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) adalah sebuah protokol komunikasi yang dirancang secara efisien untuk sistem dengan sumber daya terbatas dan jaringan yang terkadang tidak stabil. MQTT menerapkan model komunikasi *publish-subscribe* untuk mengirimkan data di antara perangkat lewat broker. Protokol ini sering digunakan dalam aplikasi *Internet of Things* karena menawarkan latensi rendah, penggunaan *bandwidth* yang efisien, serta kemampuan yang baik dalam pengiriman data sensor secara langsung, sehingga sangat cocok untuk digunakan dalam sistem pemantauan *smart greenhouse* berbasis *Internet of Things* [6].

2.6. Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler modern yang dikembangkan oleh *Espressif Systems*, menggabungkan modul Wi-Fi dan Bluetooth dalam satu *chip*. Mikrokontroler ini merupakan penyempurnaan dari ESP8266. ESP32 berfungsi sebagai pengendali bagi sensor dan perangkat pendukung dalam sistem pemantauan kualitas udara secara *real-time* berbasis *Internet of Things* (IoT) [12].

2.7. Sensor BME280

Sensor BME280 merupakan sensor digital yang mampu mengukur suhu, kelembapan, dan tekanan udara secara simultan dengan konsumsi daya rendah, serta mendukung komunikasi I²C dan SPI, sehingga cocok digunakan pada sistem *Internet of Things* untuk pemantauan lingkungan secara *real-time* [13].

2.8. Grafana

Grafana merupakan aplikasi visualisasi data berbasis web yang digunakan untuk menyajikan data sensor dalam bentuk grafik, tabel, serta *dashboard* interaktif baik secara *real-time* maupun berdasarkan data historis. Pada sistem *smart greenhouse* berbasis *Internet of Things* (IoT), data kelembapan udara dan parameter lingkungan lainnya disimpan pada basis data *time-series* kemudian ditampilkan melalui Grafana. Penyajian data ini memudahkan pengguna dalam memantau kondisi lingkungan di dalam *greenhouse* sehingga dapat mendukung proses pengambilan keputusan dalam pengelolaan *greenhouse* [14].

2.9. Node-RED

Node-RED adalah sebuah platform pemrograman yang berfokus pada alur kerja, dimanfaatkan untuk menghubungkan perangkat *Internet of Things*, *server*, dan aplikasi melalui tampilan visual berbasis node. Node-RED mempermudah pengelolaan, pengiriman, dan penampilan data sensor secara langsung, serta mendukung berbagai protokol komunikasi seperti MQTT, yang menjadikannya populer dalam sistem pemantauan *Internet of Things*, termasuk *smart greenhouse* [14].

2.10. InfluxDB

InfluxDB merupakan sistem penyimpanan data yang dirancang khusus untuk urutan waktu, yang efisien dalam menyimpan dan mengambil informasi yang mengalami perubahan berkala, seperti data dari sensor *Internet of Things*. Salah satu keunggulan InfluxDB adalah kemampuannya dalam menangani data dalam jumlah besar dan melakukan pencarian data berdasarkan waktu dengan cepat. Dalam pengembangan prototipe *smart greenhouse*, InfluxDB menyimpan data kelembapan udara yang diambil dari sensor, sehingga dapat digunakan untuk menganalisis tren serta pola perubahan kelembapan lingkungan tanaman, sekaligus menyediakan data untuk visualisasi di Grafana [14].

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menjelaskan perancangan dan implementasi sistem monitoring *smart greenhouse* berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32. Sistem dirancang untuk memungkinkan pengendalian jarak jauh serta pemantauan status perangkat secara *real-time* melalui aplikasi berbasis *smartphone*.

Perancangan sistem dilakukan melalui beberapa tahapan diantaranya membuat alur kerja sistem berupa *flowchart*, blok diagram, skema rangkaian dan desain 3d *smart greenhouse*.

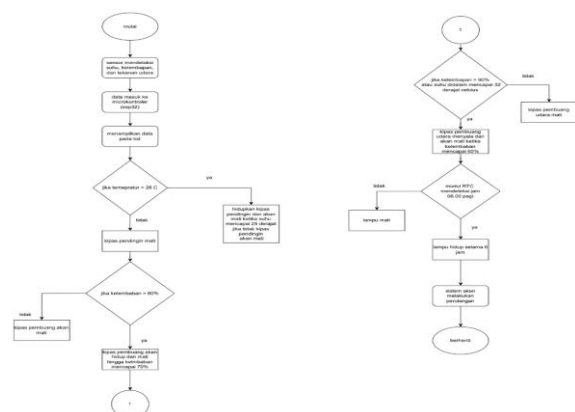
3.1. Perancangan Flowchart

Tahap pengujian dilaksanakan untuk memastikan bahwa perangkat keras dan perangkat lunak

terintegrasi sesuai dengan alur kerja. Sistem ini berfungsi secara otomatis dengan memanfaatkan input dari sensor BME280 dan RTC, diatur dengan parameter kontrol berikut:

- Kontrol Pencahayaan: *led growlight* menyala berdasarkan jadwal yang sudah ditentukan, dari pukul 07.00 hingga 16.00 (dengan durasi 9 jam).
- Kontrol Suhu: Kipas pendingin akan aktif ketika suhu mencapai 28°C atau lebih dan beroperasi maksimal pada suhu kritis, yaitu 32°C atau lebih. Kipas tersebut akan berhenti berfungsi saat suhu turun menjadi 25°C, berdasarkan logika *hysteresis*.
- Kontrol Kelembaban: Kipas *exhaust* aktif ketika kelembaban mencapai 80% atau lebih, serta dalam kondisi suhu kritis. Kipas ini akan berhenti berfungsi jika kelembaban turun menjadi 70% atau kurang.
- Pemantauan: Data dari sensor dan status aktuator ditampilkan secara langsung melalui LCD 16x2 I2C.

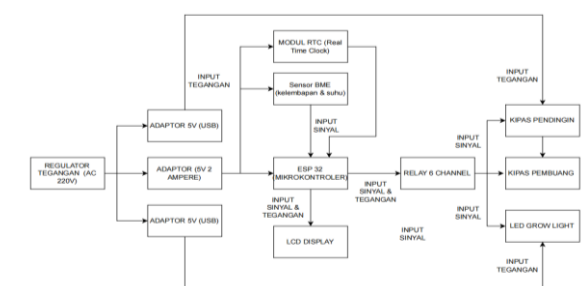
Penerapan logika *hysteresis* bertujuan untuk memastikan stabilitas lingkungan dan mencegah kerusakan pada aktuator yang disebabkan oleh pengoperasian saklar yang terlalu cepat. Sistem ini beroperasi secara siklus tanpa membutuhkan campur tangan manual. *Flowchart* sistem kendali otomatis *greenhouse* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart

3.2. Perancangan Blok Diagram

Alur kerja sistem prototipe *smart greenhouse* untuk tanaman *superfood* berbasis *internet of things* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Blok

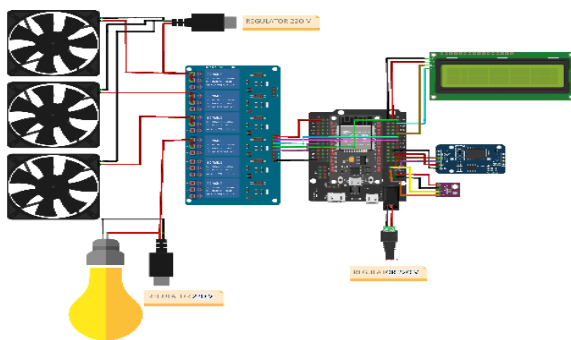
Diagram blok yang ada di Gambar 2 menunjukkan bagaimana perangkat keras dan aliran data dari sistem saling terintegrasi. Sumber utama daya berasal dari jalur AC 220V yang diubah menjadi DC 5V melalui modul penurun untuk memberikan tenaga pada seluruh komponen. ESP32 berperan sebagai unit pemrosesan utama yang mengawasi tiga input penting: pasokan listrik, penyalarsan waktu dari RTC DS3231, dan informasi lingkungan (suhu, kelembapan, dan tekanan udara) dari sensor BME280. Output dari ESP32 dialirkan ke dua jalur utama:

- Visualisasi: Data *real-time* ditampilkan pada LCD untuk pengawasan lokal.
- Kontrol Aktuator: Sinyal digital dikirim ke relay 6-channel yang mengendalikan kipas pendingin, kipas *exhaust*, dan *led growlight* sesuai dengan logika program.

Struktur ini memastikan adanya sinkronisasi antara pembacaan sensor dan reaksi aktuator secara mandiri untuk menjaga kestabilan ekosistem di dalam *greenhouse*.

3.3. Skema Rangkaian

Pada tahap perancangan dan perakitan sistem, Sistem kontrol otomatis dirancang dengan menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai otak utama yang menggabungkan sensor suhu dan kelembapan, modul RTC, relay, serta LCD I2C 16x2. Mikrokontroler ESP32 memproses informasi dari sensor serta waktu (RTC) untuk mengendalikan aktuator melalui modul relay, yang berfungsi sebagai saklar elektronik untuk kipas DC (sirkulasi udara) dan lampu (sumber pencahayaan tambahan). Gambar 3 menunjukkan rangkaian sistem kendali otomatis berbasis ESP32.



Gambar 3. Skema Rangkaian

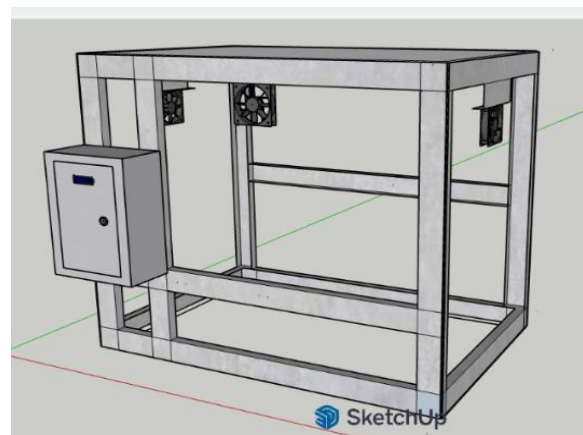
ESP32 berperan sebagai otak utama yang menyatukan masukan dari pengindera lingkungan dan modul RTC. Informasi yang diterima diproses secara langsung untuk mengatur penggerak lewat modul relay, yang berfungsi sebagai saklar elektronik untuk kipas DC (sirkulasi udara) dan lampu (penerangan tambahan).

Seluruh parameter dari sistem, termasuk data dari sensor serta keadaan penggerak, ditampilkan pada LCD I2C 16x2. Proses kerja dimulai dengan penyediaan daya untuk semua komponen, diikuti oleh

pembacaan data secara berkala oleh mikrokontroler. Mengacu pada logika program, ESP32 mengeluarkan sinyal kontrol ke relay untuk menjaga kondisi mikro *greenhouse* secara otomatis dan efektif tanpa memerlukan campur tangan manual yang intensif.

3.4. Perancangan Prototipe Smart Greenhouse

Pada Gambar 4 diperlihatkan rancangan prototipe *greenhouse* otomatis yang dirancang menggunakan perangkat lunak SketchUp. Prototipe ini memiliki dimensi panjang 120 cm, lebar 80 cm, dan tinggi 100 cm, sehingga membentuk struktur berbentuk kubus sederhana yang kompak, mudah dibangun, dan efisien untuk kebutuhan uji coba sistem otomasi skala kecil sebelum diterapkan pada *greenhouse* yang lebih besar.



Gambar 4. Desain Prototipe

Struktur *greenhouse* pada Gambar 4 dirancang menggunakan bahan baja ringan atau besi holo, dilapisi dengan plastik transparan yang tahan UV untuk memaksimalkan cahaya alami dan melindungi tanaman. Ventilasi dilengkapi dengan dua kipas pendingin di sisi atas (kanan dan kiri) serta satu kipas *exhaust* di bagian belakang untuk mengeluarkan udara lembap, demi menjaga sirkulasi dan suhu mikro yang ideal.

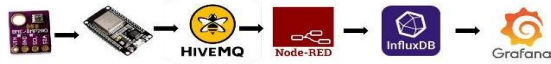
Integrasi Elektronik dan Aktuator:

- Kotak Kontrol: Letaknya di luar bangunan untuk melindungi perangkat ESP32, sensor BME280, modul RTC DS3231, dan LCD I2C dari kelembapan yang tinggi.
- Pencahayaan Buatan: Lampu *LED growlight* dipasang di bagian atas dalam sebagai sumber cahaya tambahan yang berfungsi secara otomatis.
- Sistem Kendali: Menerapkan logika *hysteresis* dan mengutamakan suhu kritis untuk mengotomatisasi kerja aktuator (kipas dan lampu).

Desain ini menggabungkan elemen mekanis dan elektronik yang berbasis *Internet of Things*, bertujuan untuk menciptakan lingkungan pertumbuhan yang stabil, efisien dalam penggunaan energi, dan mengurangi kebutuhan untuk intervensi manual.

3.5. Penerapan MQTT

Pada Gambar 5 diperlihatkan diagram alur data sistem monitoring *smart greenhouse* berbasis protokol MQTT yang mengilustrasikan proses pengiriman, pengolahan, penyimpanan, dan visualisasi data lingkungan secara *end-to-end*.



Gambar 5. Alur Penerapan MQTT

Alur dimulai dari perangkat edge berupa sensor BME280 yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32. Sensor BME280 bertugas mengukur parameter lingkungan seperti suhu, kelembaban udara, dan tekanan udara secara periodik. Data yang diperoleh kemudian diproses oleh ESP32, termasuk penentuan status aktuator berdasarkan logika kendali otomatis, dan dikemas dalam format JSON. ESP32 berperan sebagai *publisher* yang mempublikasikan *payload* tersebut ke broker MQTT melalui protokol MQTT dengan QoS level 0 untuk efisiensi.

Data selanjutnya diterima oleh broker MQTT publik HiveMQ yang berfungsi sebagai pusat distribusi pesan berbasis model *publish-subscribe*. HiveMQ memastikan pengiriman data yang andal meskipun pada kondisi jaringan tidak stabil, serta mendukung koneksi dari berbagai *client* secara bersamaan tanpa memerlukan autentikasi kompleks pada tahap pengujian.

Dari broker HiveMQ, data diteruskan ke Node-RED yang bertindak sebagai *middleware* atau *subscriber* utama. Node-RED menerima pesan melalui node MQTT-in, melakukan *parsing payload* JSON, serta melakukan pengolahan tambahan seperti penambahan *timestamp* atau *filtering* jika diperlukan. Selanjutnya, Node-RED meneruskan data yang telah diproses ke *database time-series* InfluxDB menggunakan node InfluxDB-out, sehingga data tersimpan secara terstruktur dengan indeks waktu untuk analisis historis.

Tahap akhir adalah visualisasi data pada Grafana yang terintegrasi langsung dengan InfluxDB sebagai sumber data. Grafana menyajikan *dashboard* interaktif yang mencakup grafik *real-time* suhu dan kelembaban, tren historis, *gauge* status aktuator, serta alert berbasis *threshold*. *Dashboard* ini dapat diakses melalui *browser web*, sehingga memungkinkan monitoring jarak jauh dari mana saja.

Diagram alur data ini menunjukkan integrasi yang harmonis antara perangkat edge (ESP32 dengan sensor BME280), protokol komunikasi ringan (MQTT via HiveMQ), *middleware* fleksibel (Node-RED), penyimpanan data *time-series* (InfluxDB), dan platform visualisasi (Grafana). Pendekatan ini memastikan sistem monitoring *smart greenhouse* yang skalabel, andal, dan mudah dikembangkan untuk aplikasi pertanian presisi berbasis *Internet of Things*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan sebuah sistem pemantauan *smart greenhouse* yang didukung oleh *Internet of Things* (IoT) dengan menggunakan protokol MQTT sebagai saluran komunikasi data. Sistem ini memanfaatkan ESP32, sensor BME280, dan *led grow light* untuk mengawasi kondisi suhu, kelembapan, dan tekanan udara secara langsung.

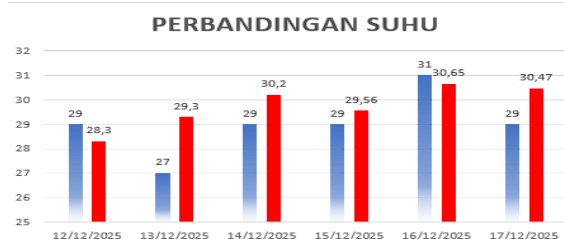
4.1. Hasil pengujian sensor BME280

Tabel 1. kondisi lingkungan saat ini

Pengujian	Tanggal	Kondisi saat ini		
		Suhu (°C)	Kelembaban %	Tekanan
1	12/12/25	29	76%	1003
2	13/12/25	27	84%	1003
3	14/12/25	29	78%	1003
4	15/12/25	29	69%	1003
5	16/12/25	31	61%	1003
6	17/12/25	29	77%	1003

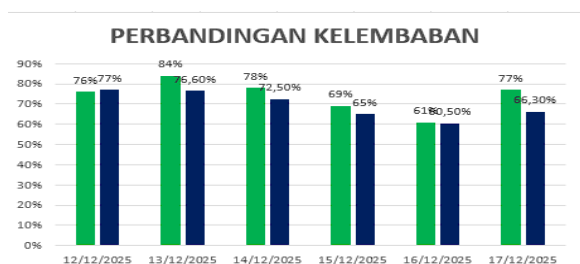
Tabel 2. pengujian sensor

Pengujian	tanggal	Sensor BME20 Real-time		
		Suhu (°C)	Kelembaban %	Tekanan
1	12/12/25	28,3	77	1002
2	13/12/25	29,3	76,6	1003
3	14/12/25	30,2	72,5	999,5
4	15/12/25	29,56	65	1004
5	16/12/25	30,65	60,5	1004,5
6	17/12/25	30,47	66,3	1003



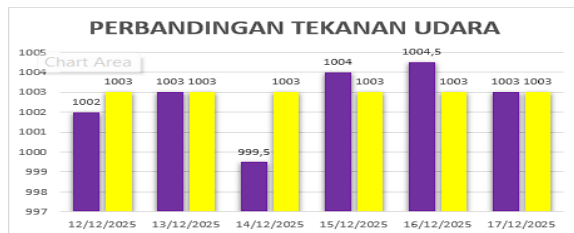
Gambar 6. Grafik Perbandingan Suhu

Berdasarkan grafik yang membandingkan suhu, pengukuran dari sensor BME280 menunjukkan angka yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan data kondisi saat ini. Perbedaan suhu tercatat dalam kisaran $\pm 0,5$ hingga $2,3^{\circ}\text{C}$. Walaupun ada variasi nilai, pola fluktuasi suhu terlihat serupa, yaitu naik pada tanggal 16/12/2025 dan turun lagi pada 17/12/2025. Ini mengindikasikan bahwa sensor mampu menangkap perubahan suhu dengan konsisten dan stabil.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Kelembaban

Pada diagram kelembaban, dapat dilihat bahwa pengukuran dari sensor BME280 umumnya menunjukkan angka yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan kondisi sekarang, dengan perbedaan sekitar $\pm 1-6\%$. Sensor ini dapat dengan jelas mendeteksi penurunan kelembaban antara 13 hingga 16 Desember 2025, serta peningkatan pada 17 Desember 2025. Ini menunjukkan bahwa sensor tersebut memiliki tingkat ketelitian yang tinggi dalam mengawasi kelembaban udara.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Tekanan Udara

Grafik mengenai tekanan atmosfer menunjukkan bahwa hasil pengukuran dari sensor BME280 sangat mendekati data acuan, dengan perbedaan sekitar $\pm 0,5-1$ hPa. Selama waktu pengujian, tekanan atmosfer tampak cukup stabil, sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor ini memiliki ketelitian yang sangat baik dalam mendeteksi tekanan udara.

Berdasarkan tiga grafik yang ada, kita dapat menyimpulkan bahwa sensor BME280 berfungsi dengan baik, konsisten, dan tepat dalam mengukur suhu, kelembaban, dan tekanan udara. Selisih data yang terjadi masih dalam batas toleransi yang dapat diterima, sehingga sistem ini cocok digunakan sebagai perangkat pemantauan lingkungan di *smart greenhouse* berbasis IoT.

4.2. Hasil pengujian Led Grow Light

Tabel 3. Hasil Pengujian Led

Pengujian	Tanggal	Jam	Status	Sesuai Jadwal
1	12/12/25	08.00	hidup	ya
		17.00	mati	ya
2	13/12/25	08.00	hidup	ya
		17.00	mati	ya
3	14/12/25	08.00	hidup	ya
		17.00	mati	ya
4	15/12/25	08.00	hidup	ya
		17.00	mati	ya
5	16/12/25	08.00	hidup	ya
		17.00	mati	ya
6	17/12/25	08.00	hidup	ya
		17.00	mati	ya

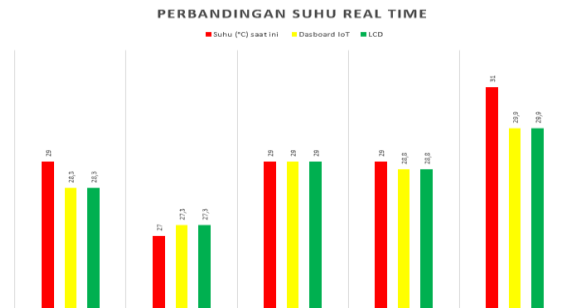
Berdasarkan hasil evaluasi sistem penjadwalan yang telah dilakukan selama enam hari (12–17 Desember 2025), dapat disimpulkan bahwa mekanisme kontrol *ON/OFF* berfungsi dengan sangat baik dan sesuai dengan waktu yang telah ditentukan. Alat tersebut berhasil aktif secara otomatis pada pukul 08.00 dan berhenti berfungsi pada pukul 17.00 setiap harinya tanpa adanya kesalahan waktu.

Seluruh data dari pengujian menunjukkan status "sesuai dengan jadwal," sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem penjadwalan ini memiliki tingkat keandalan dan kestabilan yang tinggi. Oleh karena itu, sistem ini layak dipakai untuk otomatisasi kegiatan di *smart greenhouse*, terutama dalam pengaturan waktu kerja perangkat elektronik.

4.3. Data Suhu Real-time

Tabel 4. Hasil *dashboard* dan LCD pada Suhu

Pengujian	Suhu (°C) saat ini	Dashboard IoT	LCD	Error
1	29°C	28,3°C	28,3°C	0 %
2	27°C	27,3°C	27,3°C	0 %
3	29°C	29°C	29°C	0 %
4	29°C	28,8°C	28,8°C	0 %
5	31°C	29,9°C	29,9°C	0 %
6	29°C	30,5°C	30,5°C	0 %



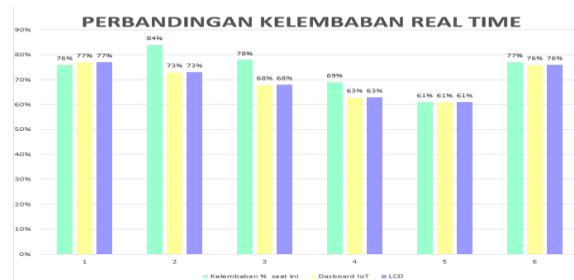
Gambar 9. Grafik Perbandingan Suhu Real-Time

Berdasarkan hasil uji coba, sistem pemantauan suhu secara langsung berfungsi dengan baik, tepat, dan stabil. Angka suhu yang ditampilkan di *dashboard* IoT dan LCD sama, dengan error 0%, menjadikan sistem ini terpercaya untuk pemantauan suhu di *smart greenhouse* berbasis IoT.

4.4. Data Kelembaban

Tabel 5. Hasil *dashboard* dan LCD pada Kelembaban

Pengujian	Kelembaban % saat ini	Dashboard IoT	LCD	Error
1	76%	77%	77%	0%
2	84%	73%	73%	0%
3	78%	68%	68%	0%
4	69%	63%	63%	0%
5	61%	61%	61%	0%
6	77%	76%	76%	0%



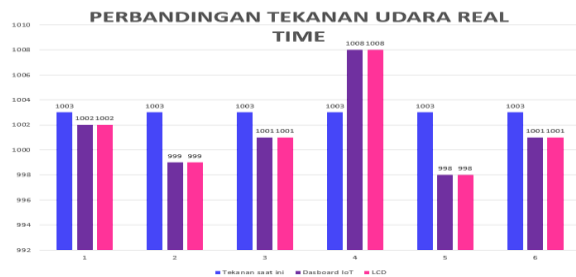
Gambar 10. Grafik Perbandingan Kelembaban Real-Time

Berdasarkan hasil uji coba, sistem pemantauan kelembaban *real-time* menunjukkan kinerja yang baik, stabil, dan konsisten. Nilai kelembaban yang ditampilkan pada *dashboard* IoT dan LCD menunjukkan hasil yang sama, dengan tingkat eror 0% selama semua pengujian. Ini menunjukkan bahwa proses pembacaan sensor, pengiriman data, dan penyajian informasi berjalan dengan tepat dan dapat diandalkan, sehingga sistem ini cocok digunakan untuk memantau kelembaban lingkungan di *smart greenhouse* berbasis IoT.

4.5. Data Tekanan *real-time*

Tabel 6. Hasil *dashboard* dan LCD pada Tekanan

Pengujian	Tekanan saat ini	Dashboard IoT	LCD	Error
1	1003 kPa	1002 kPa	1002 kPa	0%
2	1003 kPa	999 kPa	999 kPa	0%
3	1003 kPa	1001 kPa	1001 kPa	0%
4	1003 kPa	1008 kPa	1008 kPa	0%
5	1003 kPa	998 kPa	998 kPa	0%
6	1003 kPa	1001 kPa	1001 kPa	0%



Gambar 11. Grafik Perbandingan Tekanan Udara *Real-Time*

Berdasarkan hasil uji coba, angka tekanan udara yang ditunjukkan pada *Dashboard* IoT dan LCD memperlihatkan hasil yang serupa di setiap tes, dengan tingkat kesalahan sebesar 0%. Ini menunjukkan bahwa sistem pemantauan berfungsi dengan akurat, stabil, dan konsisten dalam menampilkan data tekanan udara secara langsung, sehingga cocok untuk digunakan dalam mengawasi keadaan lingkungan *smart greenhouse*.

4.6. Hasil pada Grafana

Implementasi sistem kendali otomatis dan monitoring berbasis IoT pada *smart greenhouse* telah berhasil dilakukan. Seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak menunjukkan integrasi yang harmonis, dibuktikan dengan keberhasilan transmisi data dari sensor hingga ke *platform* visualisasi.

Sistem berhasil melakukan akuisisi data suhu, kelembapan, dan tekanan udara melalui sensor BME280 secara kontinu. Data yang dikirimkan oleh ESP32 melalui protokol MQTT diterima dengan baik oleh Node-RED dan disimpan secara presisi di InfluxDB. Berdasarkan pengamatan, jeda waktu (*latency*) pengiriman data dari perangkat *edge* ke *dashboard* Grafana berada pada kategori sangat rendah, memungkinkan pemantauan secara *real-time*.

Dashboard Grafana menyajikan informasi yang komprehensif dan interaktif. Beberapa hasil utama yang teramati adalah:

- Grafik Historis: Fluktuasi suhu dan kelembapan terdokumentasi dengan jelas, memudahkan analisis pola harian di dalam *greenhouse*.
- Status Aktuator: *Gauge* dan indikator status menunjukkan kondisi aktif/nonaktif kipas dan *growlight* secara akurat sesuai dengan logika kendali yang ditanamkan.
- Sistem *Alerting*: Fitur peringatan berhasil memberikan notifikasi ketika parameter lingkungan melewati ambang batas (*threshold*) yang telah ditentukan, memastikan tindakan *preventif* dapat dilakukan segera.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem secara otomatis mampu menjaga stabilitas mikro *greenhouse*. Saat suhu mencapai 32°C, kipas pendingin aktif secara maksimal dan berhasil menurunkan suhu kembali ke titik aman 25°C melalui mekanisme *hysteresis*. Demikian pula dengan kendali pencahayaan yang beroperasi secara konsisten sesuai jadwal yang diatur pada modul RTC.

Secara keseluruhan, sistem telah berjalan lancar tanpa adanya kendala teknis pada konektivitas Wi-Fi maupun sinkronisasi data. Hal ini membuktikan bahwa arsitektur yang dirancang memiliki reliabilitas tinggi untuk mendukung pertanian presisi. Gambar *dashboard* ditunjukkan pada gambar nomor 12.



Gambar 12. Dashboard Grafana

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan protokol MQTT dalam sistem monitoring rumah kaca pintar yang berbasis IoT sangat berhasil dan efisien untuk pengiriman data secara langsung. Hasil pengujian mengindikasikan bahwa sistem ini dapat mempertahankan koneksi yang stabil dengan rasio keberhasilan pengiriman data mencapai 99% dan latensi yang rendah, yaitu di bawah 100 ms. Penggunaan sensor BME280 yang terintegrasi dengan ESP32 menunjukkan tingkat akurasi tinggi dalam memantau suhu, kelembapan, dan tekanan udara, sementara mekanisme kontrol otomatis yang menggunakan logika *hysteresis* berhasil mengoperasikan aktuator seperti kipas dan lampu tumbuh dengan tingkat keberhasilan 100%. Secara keseluruhan, kombinasi antara perangkat keras dan platform perangkat lunak seperti Node-RED, InfluxDB, dan Grafana telah membentuk sistem

pemantauan yang tepat dan handal guna mendukung pertumbuhan tanaman *superfood* kale.

Saran untuk pengembangan berikutnya adalah meningkatkan aspek perlindungan data melalui sistem verifikasi pada broker. Selain itu, sistem ini perlu diuji pada skala *smart greenhouse* yang lebih besar dan dioptimalkan penggunaan energinya dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan seperti panel surya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Eni Dwi Wardihani *Et Al.*, “Pemantauan Dan Pengendalian Parameter Greenhouse Berbasis Iot Dengan Protokol Mqtt,” *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi*, Vol. 13, No. 1, Pp. 38–43, Feb. 2024, Doi: 10.22146/Jnteti.V13i1.8564.
- [2] M. Suhairi And D. H. Tuzsakdiah, “Jurnal Politeknik Caltex Riau Sistem Kontrol Dan Monitoring Intensitas Cahaya Dan Suhu Tanaman Selada Pada Greenhouse Berbasis Iot,” *Jurnal Elementer*, Vol. 9, No. 1, Pp. 86–92, 2023, [Online]. Available: <https://Jurnal.Pcr.Ac.Id/Index.Php/Elementer/>
- [3] U. Ristian, I. Ruslianto, K. Sari, And J. Drhhadari Nawawi, “Jepin (Jurnal Edukasi Dan Penelitian Informatika) Sistem Monitoring Smart Greenhouse Pada Lahan Terbatas Berbasis Internet Of Things (Iot),” Vol. 8, No. 1, Pp. 87–94, 2022.
- [4] S. W. Aji Nur Iman, “Perancangan Aplikasi Smart Greenhouse Berbasis Iot Untuk Optimalisasi Pertumbuhan Sayuran,” *Jire (Jurnal Informatika & Rekayasa Elektronika)*, Vol. 7, No. 2, Pp. 389–401, 2024.
- [5] A. Fawaiqur, M. Malik, And S. Mansyur, “Jurnal Teknik Industri Manajemen Dan Manufaktur Jurnal Teknik Industri Universitas Proklamasi 45 Prototype Sistem Monitoring Smart Green House Berbasis Internet Of Things (Iot) Pada Tanaman Selada,” *Jurnal Jtim*, Vol. 1, No. 1, Pp. 25–38, 2024, [Online]. Available: <https://Ejournal.Up45.Ac.Id/Index.Php/Jtim>
- [6] R. Hermawan *Et Al.*, “Rudi Hermawan : Implementasi Sistem Monitoring Greenhouse ...,” *Jurnal Orang Elektro*, Vol. 14, No. 1, 2025.
- [7] A. Yuandari, J. W. Wicaksono, B. Dicky Ispatriyadi, R. Kristian, C. Santosa, And R. Setiawan, “Rancang Bangun Smart Mini Greenhouse Berbasis Internet Of Things,” *Imdec | Industrial And Mechanical Design Conference. Politeknik Atmi Surakarta*, Vol. 3, 2021.
- [8] P. H. S. Melani Widiyaningsih, “Peningkatan Produktivitas Tanaman Melalui Sistem Pencahayaan Greenhouse Berbasis Internet Of Things,” *Techné Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, Vol. 24, No. 2, Pp. 189–200, 2025.
- [9] S. S. Sentik And S. Jakarta, “Sistem Kendali Tertutup Berbasiskan Mikrokontroller Untuk Pemantauan Dan Pengendalian Kondisi Tanah Studi Kasus: Mini Greenhouse,” *Seminar Nasional Teknologi Informasi Dan Komunikasi (Sentik Sti&K) Stmik Jakarta Sti&K*, Vol. 12, No. 1, Pp. 313–318, 2024.
- [10] N. N. Hanum And D. S. Jazilah, “Biofarm Jurnal Ilmiah Pertanian Pengaruh Konsentrasi Dan Interval Pemberian Poc Morinsa Terhadap Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Kale (Brassica Oleracea Var. Acephala) The Effect Of Concentration And Interval Of Giving Morinsa Liquid Organic Fertilizer On The Growth And Production Of Kale Plants (Brassica Oleraceae Var. Acephala),” Vol. 17, No. 1, 2021.
- [11] Ayu Syahfitri, “Internet Of Things (Iot), Sejarah, Teknologi, Dan Penerapannya,” *Uranus : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Sains Dan Informatika*, Vol. 3, No. 1, Pp. 113–120, Jan. 2025, Doi: 10.61132/Uranus.V3i1.667.
- [12] R. Hidayati *Et Al.*, “Sistem Pemantauan Kualitas Udara Secara Real-Time Menggunakan Esp32 Dan Teknologi Iot,” *Jurnal Teknologi Informasi*, Vol. 5, No. 2, 2024, Doi: 10.46576/Djtechno.
- [13] E. Rustami, R. Fitria Adiati, M. Zuhri, And A. Arif Setiawan, “Uji Karakteristik Sensor Suhu Dan Kelembaban Multi-Channel Menggunakan Platform Internet Of Things (Iot),” *Berkala Fisika*, Vol. 25, No. 2, Pp. 45–52, 2022.
- [14] V. Nur Wijayaningrum, R. Wakhidah, T. Informasi, And P. Negeri Malang, “Monitoring Development Board Based On Influxdb And Grafana Monitoring Development Board Pada Platform Influxdb Dan Grafana,” *Jurnal Informatika Dan Teknologi Informasi*, Vol. 20, No. 1, Pp. 81–90, 2023, Doi: 10.31515/Telematika.V20i1.7643