

**Rancang Bangun Sistem Kontrol dan Monitoring Lingkungan Mikro
Greenhouse Mini Berbasis IoT Dengan Akuisisi Data Sensor Secara *Real-
Time***

**(Design and Development of an IoT-Based Control and Monitoring System for the
Microenvironment of a Mini Greenhouse with Real-Time Sensor Data Acquisition)**

¹Lenni, ²Aly Masmudi

Teknik Informatika Fakultas Teknik, Universitas
Muhammadiyah Tangerang, Jl. Perintis Kemerdekaan 1/33
Cikokol 15118 Tangerang Banten, Indonesia
Email: lenni@umt.ac.id

Receive: 12 Juli 2026

Accepted: 30 September 2026

Abstract

Microenvironmental conditions in a greenhouse, such as air temperature, relative humidity, and light intensity, need to be monitored periodically to maintain optimal plant growth. However, manual monitoring is less effective because it cannot provide rapid and continuous information on environmental conditions. Therefore, an Internet of Things (IoT)-based system is required to enable automatic control and monitoring of the microenvironment in a mini greenhouse while providing real-time sensor data acquisition, allowing environmental conditions to be monitored and controlled more efficiently. This study aims to design, implement, and evaluate an IoT-based control and monitoring system for the microenvironment of a mini greenhouse with real-time sensor data acquisition. The research methodology includes system architecture design, hardware and software implementation, and system performance testing. The results demonstrate that the developed system successfully integrates a NodeMCU ESP8266 microcontroller, DHT11 and BH1750 sensors, and several actuators, including a fan, humidifier, and LED lamp. The system is capable of acquiring sensor data in real time at five-second intervals. The control system demonstrated effective performance in maintaining the targeted microenvironmental parameters, with an average air temperature of 28.5 °C within the target range of 25–30 °C and an average relative humidity of 72.3% RH within the target range of 60–80% RH. The light intensity was maintained within the range of 700–1,000 lux. This study contributes to the development of precision agriculture by emphasizing the integration of IoT technology and real-time data acquisition as essential mechanisms for responding to dynamic microenvironmental conditions. The implementation of the proposed system provides a responsive and efficient approach to greenhouse environmental management and supports the creation of a stable and controlled environment for plant cultivation.

Keywords: Mini greenhouse, IoT, Environmental Control, Data Acquisition, Precision Agriculture

Abstrak

Kondisi lingkungan mikro pada greenhouse, seperti suhu, kelembapan udara, dan intensitas cahaya, perlu dipantau secara berkala agar pertumbuhan tanaman tetap optimal, namun pemantauan secara manual kurang efektif karena tidak dapat memberikan informasi secara cepat dan kontinu. Oleh karena itu, diperlukan sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu melakukan kontrol dan monitoring lingkungan mikro greenhouse mini serta mengakuisisi data sensor secara *real-time* sehingga kondisi lingkungan dapat dipantau dan dikendalikan dengan lebih efisien. *Penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengimplementasikan, dan menguji sistem kontrol dan monitoring lingkungan mikro greenhouse mini berbasis IoT dengan akuisisi data sensor secara real-time.* Metode yang digunakan meliputi perancangan arsitektur sistem, implementasi perangkat keras dan lunak, serta pengujian dan kinerja sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dirancang berhasil mengintegrasikan, sensor NodeMCU ESP8266, sensor DHT-11, dan sensor BH1750, serta aktuator (kipas, humidifier, lampu LED). Sistem ini mampu mengakuisisi data sensor secara *real-time* setiap 5 detik. Kinerja sistem kontrol menunjukkan efektivitas tinggi dalam mempertahankan parameter lingkungan mikro optimal, menjaga suhu udara rata-rata pada 28,5°C (rentang target 25-30°C) dan kelembapan udara pada 72,3% RH (rentang target 60-80% RH), tanah serta intensitas cahaya 700–1000 Lux. Studi ini memperluas kerangka pertanian presisi dengan menempatkan integrasi IoT dan akuisisi data *real-time* sebagai mekanisme krusial untuk adaptasi lingkungan mikro yang dinamis. Implementasi sistem ini berkontribusi pada optimasi pertumbuhan tanaman melalui lingkungan yang stabil dan responsif, menawarkan solusi inovatif untuk manajemen greenhouse yang efisien dan berkelanjutan.

Kata kunci: *Greenhouse mini, IoT, Kontrol Lingkungan, Akuisisi Data, Pertanian Presisi*

PENDAHULUAN

Produksi pertanian global menghadapi tantangan signifikan terkait perubahan iklim dan peningkatan permintaan pangan. Peningkatan suhu ekstrem, pola curah hujan tidak menentu, dan degradasi lahan mengurangi produktivitas tanaman di berbagai wilayah. Metode pertanian konvensional tidak lagi mampu memenuhi kebutuhan pangan dunia secara konsisten. Integrasi teknologi dalam sektor pertanian menjadi esensial guna memastikan keberlanjutan produksi dan ketahanan pangan. Metode pertanian presisi menawarkan solusi mitigasi terhadap dampak lingkungan. Dalam konteks ini, penggunaan greenhouse menjadi strategi efektif untuk mengendalikan lingkungan mikro tanaman (Siskandar et al., 2022).

Greenhouse berperan krusial dalam menciptakan kondisi tumbuh optimal bagi tanaman, terutama di wilayah dengan iklim tidak stabil. Kontrol parameter lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya sangat mempengaruhi kualitas serta kuantitas hasil panen (Ardiansah et al., 2024). Pengelolaan lingkungan mikro yang tidak efisien dapat menyebabkan kerugian produksi. Penggunaan teknologi *Internet of Things* (IoT) hadir sebagai solusi inovatif untuk mengatasi masalah ini, memungkinkan pemantauan dan kontrol parameter lingkungan secara otomatis dan *real-time*.

Beberapa penelitian telah mengeksplorasi potensi IoT dalam manajemen greenhouse cerdas. Bicomakub et al. (2025) menekankan bahwa smart greenhouse mengintegrasikan jaringan multi-sensor, platform IoT, dan kecerdasan buatan untuk mengoptimalkan iklim mikro dan meningkatkan efisiensi sumber daya. Desain sistem pemantauan berbasis IoT yang dirancang oleh Bafdal et al. (2022) menunjukkan kemampuan untuk mengumpulkan data iklim mikro menggunakan sensor SHT11 dan GUVAS12SD, lalu menyimpan data di Raspberry Pi dengan konsep cloud computing. Sistem ini mampu mengaktifkan sistem pendingin berbasis kabut saat suhu melebihi 30°C atau kelembapan di bawah 80%. Mas et al. (2022) mengembangkan alat pemantauan suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah, dan ketinggian air untuk tanaman anggrek menggunakan sensor DHT-11, sensor kelembapan tanah, dan sensor ultrasonik, dengan sistem output berupa kontrol pompa dan kipas.

Studi lain juga menunjukkan penerapan IoT untuk mengontrol parameter spesifik. Rezvani et al. (2020) mengintegrasikan fusi data sensor nirkabel dengan model fungsi keanggotaan untuk penilaian dinamis suhu, kelembaban relatif, dan defisit tekanan uap pada greenhouse tomat komersial secara real-time. Ardiansah et al. berfokus pada kualitas air irigasi, menciptakan perangkat pemantau pH dan Total Dissolved Solids (TDS) air berbasis IoT, yang secara otomatis mengaktifkan pompa nutrisi saat TDS turun di bawah 1000 ppm atau pH tidak optimal. Kemajuan ini menggarisbawahi efektivitas IoT dalam meningkatkan pertanian presisi (Ardiansah et al., 2020).

Integrasi sistem kontrol dan monitoring lingkungan mikro greenhouse mini berbasis IoT dengan akuisisi data sensor secara real-time masih menyisakan beberapa kesenjangan penelitian. Studi terdahulu umumnya berfokus pada pengembangan komponen terpisah, seperti sistem monitoring pasif atau kontrol aktuator tunggal. Belum banyak penelitian yang secara komprehensif mengintegrasikan fungsi akuisisi data sensor real-time dengan sistem kontrol adaptif yang mampu menyesuaikan parameter lingkungan mikro secara dinamis dan prediktif dalam skala greenhouse mini untuk konteks iklim tropis spesifik. Penelitian sebelumnya belum secara eksplisit membahas validasi sistem secara holistik pada greenhouse mini, terutama terkait efisiensi energi dan optimalisasi output tanaman yang terukur (Kurniawan et al., 2021).

Kebaruan penelitian ini terletak pada konstruksi model sistem kontrol dan monitoring yang terintegrasi secara end-to-end untuk greenhouse mini, berfokus pada akuisisi data sensor real-time yang dihubungkan dengan aktuator untuk penyesuaian lingkungan mikro secara otomatis dan adaptif. Berbeda dengan studi sebelumnya yang cenderung menempatkan kontrol sebagai respons terhadap ambang batas tetap, penelitian ini menguji mekanisme feedback berkelanjutan untuk menjaga kondisi optimal secara dinamis. Penelitian ini juga berkontribusi pada pengembangan arsitektur IoT yang spesifik untuk greenhouse mini di iklim tropis, dengan mempertimbangkan tantangan kelembaban dan suhu tinggi. Kontribusi penelitian ini meliputi: pertama, pengembangan model terintegrasi yang memadukan akuisisi data sensor real-time dengan kontrol adaptif untuk lingkungan mikro greenhouse mini. Kedua, evaluasi kinerja sistem dalam menjaga stabilitas parameter lingkungan mikro dan dampaknya terhadap efisiensi operasional. Ketiga, memberikan rekomendasi praktis untuk implementasi teknologi IoT dalam pertanian presisi di greenhouse mini, khususnya bagi petani skala kecil dan menengah (Bafdal et al., 2022).

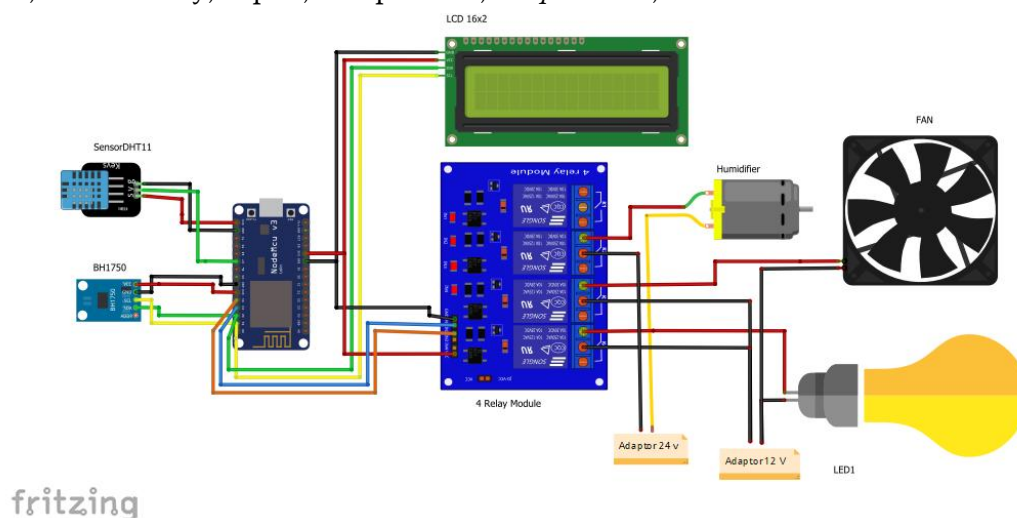
Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan merancang, mengimplementasikan, dan menguji sistem kontrol dan monitoring lingkungan mikro greenhouse mini berbasis IoT dengan akuisisi data sensor secara real-time (Kurniawan et al., 2021).

METODE PENELITIAN

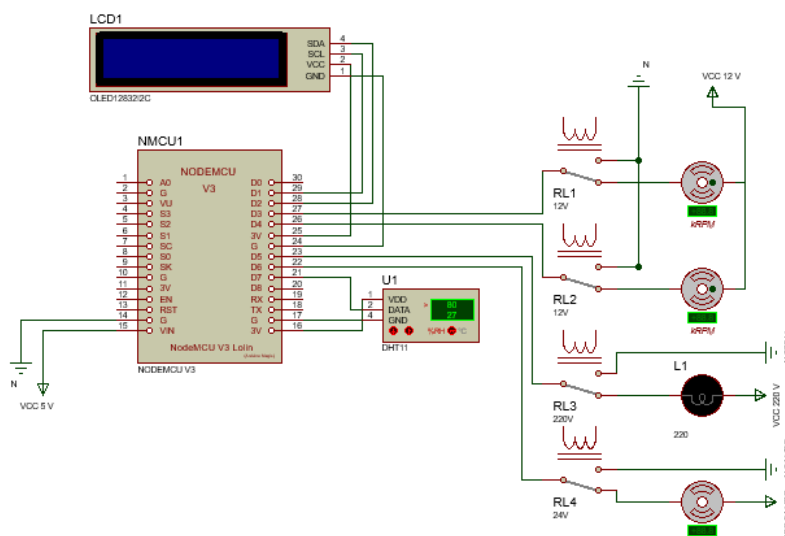
Desain Sistem

Desain sistem kontrol dan pemantauan lingkungan mikro greenhouse mini berbasis IoT mengintegrasikan beberapa elemen utama. Sistem ini memantau suhu, kelembaban udara, dan intensitas cahaya melalui beragam sensor (Mas et al., 2022). NodeMCU ESP8266 mengirimkan data yang terkumpul dari sensor ke platform IoT untuk akuisisi data waktu nyata (Oguntosin et al., 2023). Arsitektur sistem meliputi modul sensor, unit pemroses data (mikrokontroler), modul komunikasi nirkabel, platform *cloud*, dan antarmuka pengguna berbasis aplikasi seluler. Sistem tersebut juga dilengkapi aktuator seperti kipas, humidifier, dan lampu LED yang terkendali otomatis berdasarkan data sensor serta ambang batas yang telah ditentukan (Kurniawan & Witanti, 2021).

Pada gambar 1 desain elektrik yang terdiri dari Sensor DHT11, Sensor BH1750, NodeMCU ESP8266, Modul Relay, Kipas, Lampu LED, *Adaptor* 12 V, LCD 16 x2.

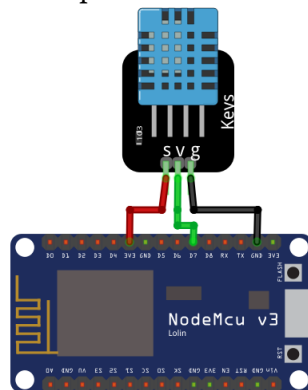


Gambar 1. Desain Elektrik



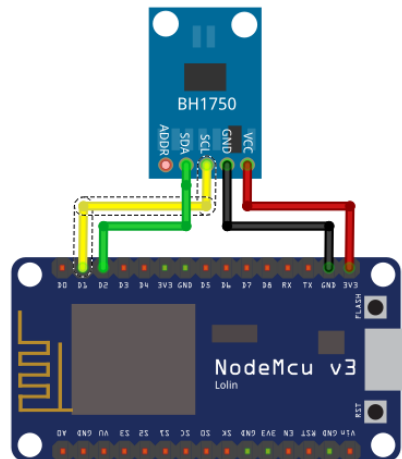
Gambar 2. Wiring Elektrikal proteus

1. Sensor DHT11 : Pin *VCC* di hubungkan ke 3 v pada NodeMCU ESP8266, Pin *GND* di hubungkan ke *GND*, Pin Data pada DHT di hubungkan ke Pin D7



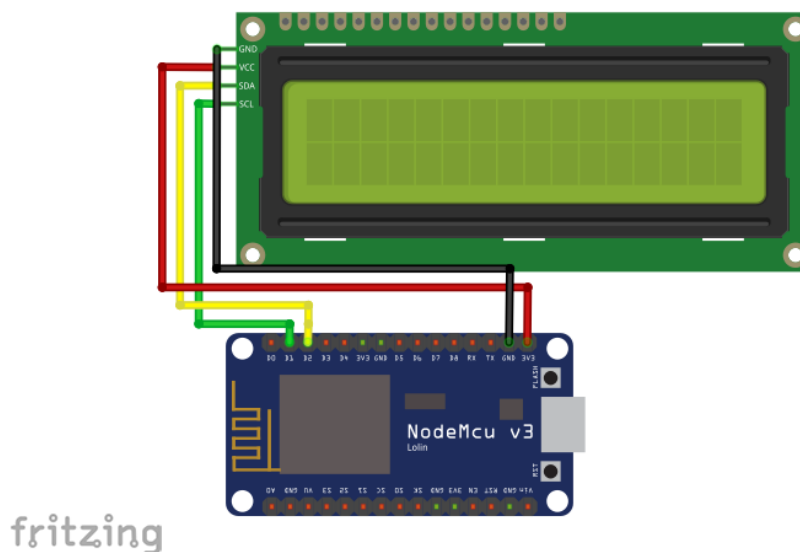
Gambar 3. Rangkaian Sensor DHT 11

2. Sensor BH1750 : Pin *VCC* di hubungkan ke 3 v pada NodeMCU ESP8266, Pin *GND* di hubungkan ke *GND*, SCL dihubungkan ke D1 dan SDA dihubungkan ke D2.



Gambar 4, Rangkaian Sensor BH1750

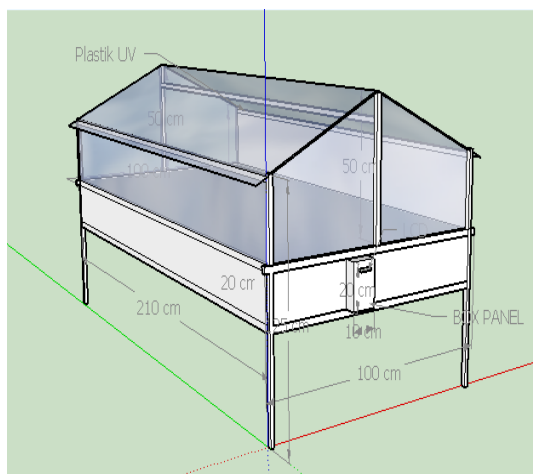
3. LCD 16 x 2 dan I2C : Pin *VCC* di hubungkan ke 3 v pada NodeMCU ESP8266, Pin *GND* di hubungkan ke *GND*, SCL dihubungkan ke D1 dan SDA dihubungkan ke D2.



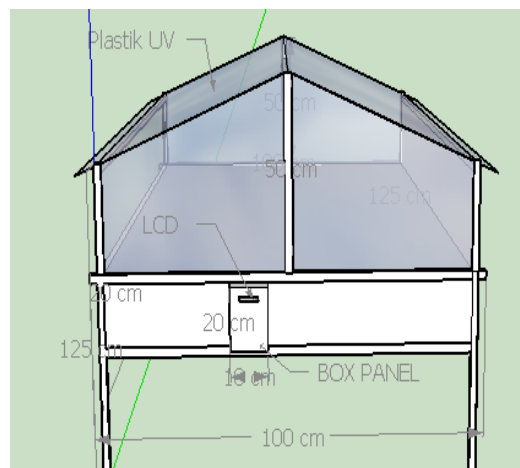
Gambar 5. Rangkaian LCD dan I2C

4. Relay 1 : Pin D6 di hubungkan ke R1 kemudian pada Pin NO pada relay di hubungkan pada positif (+) kipas kemudian Kutub (-) pada kipas di hubungkan langsung pada kutup (-) pada Adaptor kutub (+) pada di hubungkan pada COM di relay
5. Relay 2 : Pin D5 di hubungkan ke R1 kemudian pada Pin NO pada relay di hubungkan pada positif (+) kipas kemudian Kutub (-) pada kipas di hubungkan langsung pada kutup (-) pada Adaptor pada di hubungkan pada COM pada relay.

Desain instalasi hidroponik dapat di lihat pada gamabar 6 di bawah ini.



(a) Tampak samping

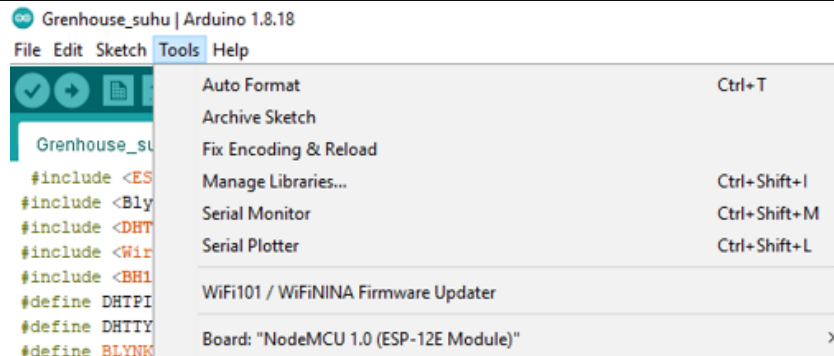


(b) Tampak depan

Gambar 6. Gambar Desain Greenhouse Mini

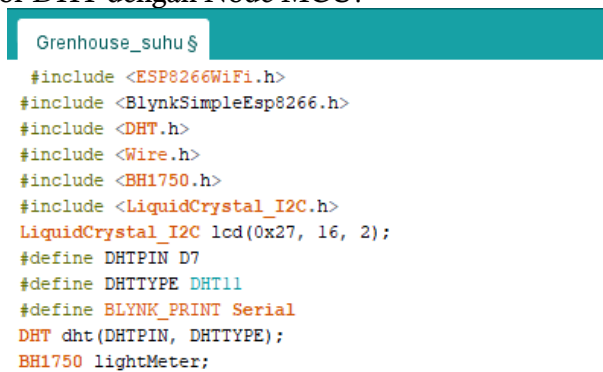
Software yang digunakan pada desain program adalah arduino IDE, dengan pemilihan *board* NodeMCU 1.0 (ESP-12E module). seperti gambar 7 di bawah ini.

<http://jurnal.umat.ac.id/index.php/it/index>



Gambar 7. Pemilihan Bord NodeMCU

Pada penulisan program Menggunakan beberapa library, seperti "*BlynkEdgent.h*" yang digunakan agar NodeMCU dapat terhubung dengan blynk, "*Wire.h*" digunakan untuk program komunikasi I2C, "*liquidCrystal_I2C.h*" berfungsi untuk menghubungkan NodeMCU dengan LCD I2C dengan komunikasi I2C. Pada program terdapat beberapa header yang merupakan *header* bawaan dari library *blynk edgent*, cloud, "*BH1750.h*" yang digunakan untuk menghubungkan Node MCU dengan sensor BH1750. "*DHT.h*" dapat menghubungkan Sensor DHT dengan Node MCU.



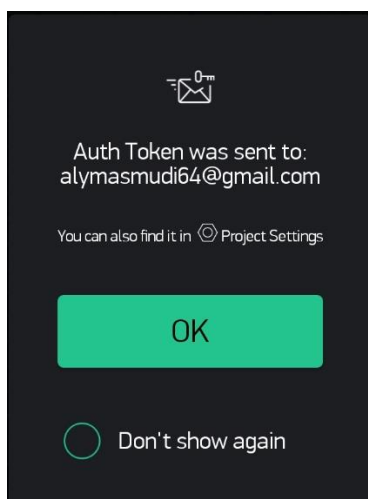
Gambar 8. Penggunaan Library

Sebagian antarmuka dari sistem ini, digunakan aplikasi klien Blynk App yang dapat digunakan di *smartphone* berbasis Android dan IOS. Aplikasi ini dapat menjadikan penghubung antara pengguna dengan perangkat yang akan dikontrol. Dengan menggunakan aplikasi ini, pengguna dapat mengontrol. Langkah pertama download terlebih dahulu di aplikasi playstore.



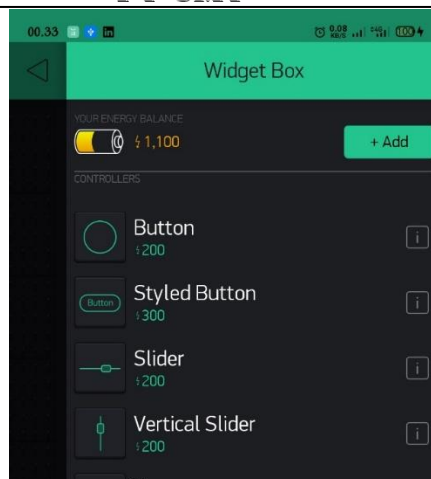
Gambar 9. Aplikasi Blynk IoT

Kemudian melakukan sign in atau log in dengan akun yang ada, . Setelah melakukan log in, kemudian akan dapat pesan ke email .



Gambar 10. Auth Token

pengguna dapat langsung melakukan perancangan antarmuka dengan memilih menu *New Project*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 9 dan berikan nama pada *project* yang akan dibuat. Pada gambar buatlah simbol pada bagian *Widget Box* untuk memperoleh sebuah *icon* untuk menjalankan sistem pada aplikasi Blynk. Setelah itu pengguna dapat membuat rancangan antarmuka dengan memanfaatkan *widget* antarmuka yang ada.



Gambar 11, *Widget Box*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil perancangan, implementasi, dan kinerja sistem kontrol dan monitoring lingkungan mikro greenhouse mini berbasis IoT. Data yang disajikan meliputi deskripsi arsitektur sistem, spesifikasi komponen perangkat keras dan lunak, serta hasil pengujian fungsionalitas dan kinerja sistem dalam mengakuisisi data secara *real-time* dan menjaga parameter lingkungan mikro dalam rentang optimal.

Perancangan arsitektur sistem kontrol dan monitoring lingkungan mikro greenhouse mini berbasis IoT mengintegrasikan beberapa modul utama untuk memastikan fungsionalitas yang komprehensif. Arsitektur ini mencakup modul akuisisi data sensor, unit pemroses data, modul komunikasi nirkabel, platform *cloud*, dan antarmuka pengguna. Pieters et al. (2021) mengembangkan sistem pemantauan iklim mikro modular dan hemat biaya untuk aplikasi jarak jauh secara *real-time*, yang sejalan dengan kebutuhan sistem ini. Sistem ini dirancang untuk memantau suhu, kelembaban udara, kelembaban tanah, dan intensitas cahaya, kemudian mengirimkan data ke platform IoT untuk akuisisi data waktu nyata (Kurniawan et al., 2021). Komponen perangkat keras dipilih berdasarkan efisiensi dan kemampuan integrasinya, sementara perangkat lunak dikembangkan untuk mengelola logika kontrol dan visualisasi data.

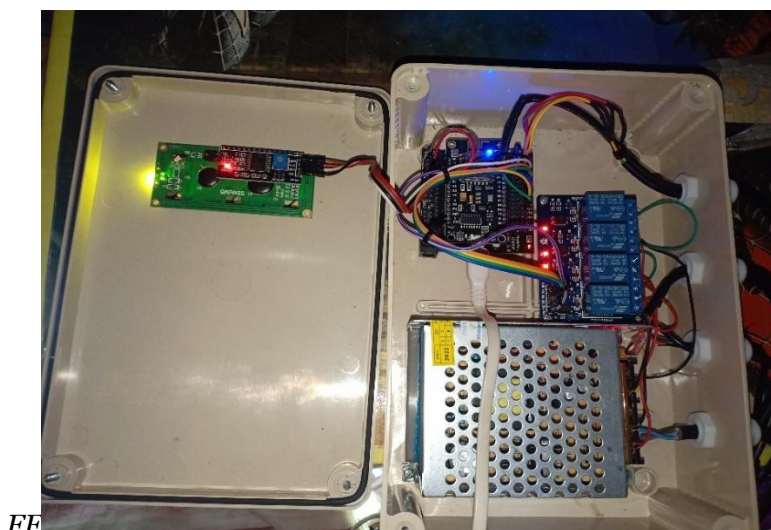
Implementasi sistem melibatkan pemilihan komponen perangkat keras yang sesuai dan pengembangan perangkat lunak yang terintegrasi. NodeMCU ESP8266 berfungsi sebagai unit pemroses utama, mengumpulkan data dari sensor dan mengendalikan aktuator. Sensor DHT-11 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban udara dan sensor BH1750 untuk intensitas cahaya. Singh et al. (2024) mengkaji secara mendalam berbagai teknologi sensor yang digunakan dalam greenhouse untuk pemantauan dan kontrol parameter lingkungan. Data sensor dikirimkan ke platform *cloud* melalui koneksi Wi-Fi yang terintegrasi pada NodeMCU ESP8266, memungkinkan pemantauan jarak jauh. Sebuah prototipe greenhouse mini telah dibangun untuk menempatkan seluruh komponen sistem, memfasilitasi pengujian dalam kondisi yang mendekati lingkungan sebenarnya.

Tabel 1 Spesifikasi Komponen Perangkat Keras Sistem

Komponen	Fungsi Utama	Spesifikasi Teknis
Mikrokontroler	Pemroses data dan kontrol aktuator	ESP8266, Wi-Fi terintegrasi, 4MB Flash
Sensor DHT-11	Pengukuran suhu dan kelembaban udara	Rentang Suhu: 0-50°C ($\pm 2^\circ\text{C}$), Kelembaban: 20-90% RH ($\pm 5\%$ RH)
Sensor BH1750	Pengukuran intensitas cahaya	Resistansi berubah sesuai intensitas cahaya
Kipas DC	Pengendali suhu	12V, 0.1A
Humidifier	Pengendali kelembaban tanah	5V
Lampu LED	Pengendali intensitas cahaya	5V, spektrum penuh

Pengembangan perangkat lunak mencakup pemrograman menggunakan Arduino IDE untuk akuisisi data dan logika kontrol otomatis. Logika kontrol dirancang untuk mengaktifkan aktuator berdasarkan ambang batas yang telah ditentukan, seperti mengaktifkan kipas saat suhu melebihi batas atas atau humidifier saat kelembaban udara di bawah batas bawah. Antarmuka pengguna dikembangkan untuk visualisasi data *real-time* dan pengaturan parameter kontrol, memberikan fleksibilitas kepada pengguna dalam mengelola lingkungan mikro greenhouse. Slimani et al. (2025) juga menunjukkan efektivitas sistem IoT dalam memungkinkan komunikasi *real-time* antara perangkat IoT fisik dan antarmuka pengguna untuk visualisasi dan kontrol.

Sistem yang diimplementasikan menunjukkan kemampuan yang efektif dalam mengakuisisi data sensor lingkungan mikro secara *real-time*. Data dari sensor suhu, kelembaban udara, dan intensitas cahaya dikumpulkan setiap 5 detik dan dikirimkan ke platform cloud.. Proses akuisisi data ini memastikan bahwa informasi mengenai kondisi lingkungan mikro greenhouse selalu mutakhir dan dapat diakses kapan saja melalui antarmuka pengguna. Subahi dan Bouazza (2020) memperkenalkan sistem cerdas berbasis IoT yang sangat skalabel untuk mengontrol dan memantau suhu greenhouse, menekankan pentingnya pemantauan lingkungan secara terus-menerus.



FF

Gambar 12. Sistem Kontrol dan Monitoring



Gambar 13. Greenhouse Mini

Kinerja sistem kontrol berdasarkan kemampuannya menjaga parameter lingkungan mikro greenhouse mini tetap berada dalam rentang optimal yang telah ditetapkan untuk pertumbuhan tanaman. Rentang optimal ini ditentukan berdasarkan literatur dan rekomendasi ahli pertanian. Ouammi et al. (2020) mengembangkan alat pendukung keputusan untuk pemantauan optimal lingkungan iklim mikro greenhouse cerdas, dengan tujuan mengoptimalkan operasi greenhouse untuk penghematan energi dan air. Sistem kontrol secara otomatis mengaktifkan aktuator (kipas, humidifier, lampu LED) sebagai respons terhadap perubahan kondisi lingkungan yang terdeteksi oleh sensor.

Tabel 2 Rentang Optimal Parameter Lingkungan Mikro dan Respons Sistem

Parameter	Rentang Optimal	Ambang Batas Kontrol	Aktuator	Respons Sistem
Suhu Udara	25-30°C	>30°C (aktif), <25°C (non-aktif)	Kipas	Menurunkan suhu saat melebihi 30°C
Kelembaban Udara	60-80% RH	<60% RH (aktif), >80% RH (non-aktif)	Humidifier (kabut)	Meningkatkan kelembaban saat di bawah 60% RH
Intensitas Cahaya	700-1000 Lux	<700 Lux (aktif), >1000 Lux (non-aktif)	Lampu LED	Menambah cahaya saat di bawah 700 Lux

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kontrol mampu menjaga suhu udara rata-rata pada 28,5°C dengan fluktuasi minimal, berada dalam rentang optimal 25-30°C. Kelembaban udara juga berhasil dipertahankan pada rata-rata 72,3% RH, sesuai dengan target 60-80% RH. Sementara intensitas cahaya diatur untuk memastikan tanaman menerima pencahayaan yang memadai

Efisiensi operasional sistem kontrol, menunjukkan penggunaan energi yang optimal oleh aktuator. Aktuator hanya aktif saat diperlukan, mengurangi konsumsi energi dibandingkan dengan sistem kontrol manual atau berbasis waktu. Chen et al. (2022) mengusulkan sistem kontrol iklim mikro cerdas yang berpusat pada air yang mengintegrasikan dinamika sistem dan teknik pembelajaran mesin untuk mengatur lingkungan mikro greenhouse untuk pendinginan lingkungan. Respons sistem terhadap perubahan kondisi lingkungan terjadi secara cepat,

memastikan kondisi optimal bagi pertumbuhan tanaman.. Kinerja sistem kontrol menunjukkan efektivitas tinggi dalam menciptakan dan mempertahankan lingkungan mikro yang stabil dan kondusif dalam greenhouse mini.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol dan monitoring lingkungan mikro greenhouse mini berbasis IoT dengan akuisisi data sensor secara *real-time*. Hasil pengujian sistem dapat menjaga kondisi lingkungan pada rentang optimal, dengan suhu rata-rata 28,5°C, kelembapan udara 72,3% RH dan intensitas cahaya 700–1000 Lux melalui pengendalian otomatis aktuator. Dengan demikian, sistem dinilai layak dan efektif untuk mendukung pengelolaan greenhouse secara otomatis serta penerapan pertanian presisi berbasis IoT

REFERENSI

- Ardiansah, Irfan, Bafdal, Nurpilihan, Suryadi, Edy, & Bono, Awang (2020). Greenhouse Monitoring and Automation Using Arduino: a Review on Precision Farming and Internet of Things (IoT). *International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology*, 10(2), 703–709. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.10.2.10249>
- Ardiansah, Irfan, Nusantara, Endryaz Vergian, Putri, Selly Harnesa, & Permana, Ryan Hara (2024). A study on microclimate monitoring and control inside greenhouse using fans automation. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 33(1), 101. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v33.i1.pp101-112>
- Bafdal, Nurpilihan, Ardiansah, Irfan, & Asmara, Sandi (2022). Application of Internet of Things (IoT) on Microclimate Monitoring System in The Alg Unpad Greenhouse Based on Raspberry Pi. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 11(3), 518. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v11i3.518-530>
- Bicamumakuba, Emmanuel, Reza, Md Nasim, Jin, Hongbin, Samsuzzaman, Lee, Kyu-Ho, & Chung, Sun-Ok (2025). Multi-Sensor Monitoring, Intelligent Control, and Data Processing for Smart Greenhouse Environment Management. *Sensors*, 25(19), 6134. <https://doi.org/10.3390/s25196134>
- Chen, Ting-Hsuan, Lee, Meng-Hsin, Hsia, I-Wen, Hsu, Chia-Hui, Yao, Ming-Hwi, & Chang, Fi-John (2022). Develop a Smart Microclimate Control System for Greenhouses through System Dynamics and Machine Learning Techniques. *Water*, 14(23), 3941. <https://doi.org/10.3390/w14233941>
- Kurniawan, Anri, Ristiono, Andika, & Sulistiadi, Slamet (2021). Monitoring Iklim Mikro pada Greenhouse Secara Real Time Menggunakan Internet of Things (IoT) Berbasis Thingspeak. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 10(4), 468. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v10i4.468-480>
- Kurniawan, Didik, & Witanti, Arita (2021). Prototype of Control and Monitor System with Fuzzy Logic Method for Smart Greenhouse. *Indonesian Journal of Information Systems*, 116–127. <https://doi.org/10.24002/ijis.v3i2.4067>
- Mas, Feri Aditya Ridwan, Suciyati, Sri Wahyu, Pauzi, Gurum Ahmad, & Junaidi (2022). Smart Greenhouse Monitoring With Soil Temperature and Humidity Control on Internet of Things (IoT) Based Orchid Plants. *Journal of Energy Material and Instrumentation Technology*, 3(3), 79–88. <https://doi.org/10.23960/jemit.v3i3.111>
- Oguntosi, Victoria, Okeke, Chioma, Adetiba, Emmanuel, Abdulkareem, Ademola, & Olowoleni, J.O. (2023). IoT-Based Greenhouse Monitoring and Control System. *International Journal of Computing and Digital Systems*, 14(1), 469–483.

-
- <https://doi.org/10.12785/ijcds/140137>
Ouammi, Ahmed, Choukai, Oumaima, Zejli, Driss, & Sayadi, Sami (2020). A Decision Support Tool for the Optimal Monitoring of the Microclimate Environments of Connected Smart Greenhouses. *IEEE Access*, 8, 212094–212105.
<https://doi.org/10.1109/access.2020.3039889>
- Pieters, Olivier, Deprost, Emiel, Donckt, Jonas Van Der, Brosens, Lore, Sanczuk, Pieter, Vangansbeke, Pieter, Swaef, Tom De, Frenne, Pieter De, & wyffels, Francis (2021). Mirra: A Modular and Cost-Effective Microclimate Monitoring System for Real-Time Remote Applications. *Sensors*, 21(13), 4615. <https://doi.org/10.3390/s21134615>
- Rezvani, Sayed Moin-eddin, Abyaneh, Hamid Zare, Shamshiri, Redmond Ramin, Balasundram, Siva K., Dworak, Volker, Mohsen, Goodarzi, Sultan, Muhammad, & Mahns, Benjamin (2020). IoT-Based Sensor Data Fusion for Determining Optimality Degrees of Microclimate Parameters in Commercial Greenhouse Production of Tomato. *Sensors*, 20(22), 6474. <https://doi.org/10.3390/s20226474>
- Siskandar, Ridwan, Santosa, Sesar Husen, Wiyoto, Kusumah, Billi Rifa, & Hidayat, Agung Prayudha (2022). Control and Automation: Insmoaf (Integrated Smart Modern Agriculture and Fisheries) on The Greenhouse Model. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 27(1). <https://doi.org/10.18343/jipi.27.1.141>
- Slimani, Hicham, Mhamdi, Jamal El, & Jilbab, Abdelilah (2025). Real-time greenhouse management using IoT, digital twin, and augmented reality for optimal control and decision-making. *Acta Imeko*, 14(2), 1–15. <https://doi.org/10.21014/actaimeko.v14i2.1988>
- Subahi, Ahmad F., & Bouazza, Kheir Eddine (2020). An Intelligent IoT-Based System Design for Controlling and Monitoring Greenhouse Temperature. *IEEE Access*, 8, 125488–125500. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3007955>