

Rancang Bangun Sistem Smart Greenhouse Cabai Berbasis IoT dengan Penyiraman Otomatis dan Ventilasi Berbasis Blynk

Muhammad Hanafi Afan Firdaus^{1*}, Rahma Widhi Puja Suwita², Faqih Jendra Fawaid³, Pramono⁴

^{1*} Teknik Informatika/Ilmu Komputer
Universitas Duta Bangsa Surakarta
230103231@mhs.udb.ac.id

² Teknik Informatika/Ilmu Komputer
Universitas Duta Bangsa Surakarta
230103233@mhs.udb.ac.id

³ Teknik Informatika/Ilmu Komputer
Universitas Duta Bangsa Surakarta
230103223@mhs.udb.ac.id

⁴ Teknik Informatika/Ilmu Komputer
Universitas Duta Bangsa Surakarta
pramono@udb.ac.id

Abstrak— Penelitian ini merancang ulang sistem penyiram cabai otomatis menjadi miniatur smart greenhouse berbasis Internet of Things (IoT) yang memantau kelembapan tanah, suhu udara, dan kelembapan udara, serta mengendalikan pompa air dan kipas exhaust menggunakan ESP32 dan Blynk. Revisi dilakukan karena suhu udara tinggi atau kelembapan udara rendah tidak selalu menunjukkan kebutuhan air pada media tanam. Sensor kelembapan tanah dijadikan parameter utama penyiraman, sedangkan sensor suhu digunakan untuk ventilasi aktif. Sistem menggunakan ESP32 DevKit V1, sensor soil moisture kapasitif, DHT11, relay dual channel, pompa air mini, kipas DC, OLED display, tandon air, selang irigasi tetes, dripper, adaptor 5V, terminal block, box elektronik luar, dan Blynk IoT Platform. Nilai sensor tanah dikonversi dari ADC 12-bit menjadi persentase kelembapan relatif berdasarkan titik kalibrasi kering dan basah. Logika kontrol menetapkan pompa aktif ketika kelembapan tanah kurang dari 55%, kipas aktif ketika suhu lebih dari 30°C, dan kipas mati ketika suhu kurang dari atau sama dengan 28°C. Kelembapan udara digunakan sebagai indikator mikroklimat dan peringatan, bukan pemicu pompa. Rancangan ini menghasilkan pembagian fungsi aktuator yang lebih jelas, mengurangi risiko overwatering, dan menyederhanakan implementasi miniatur greenhouse cabai.

Kata kunci— smart greenhouse, ESP32, Blynk, cabai, ventilasi

Abstract— This study redesigns an automatic chili plant watering system into an Internet of Things (IoT)-based miniature smart greenhouse that monitors soil moisture, air temperature, and air humidity while controlling a water pump and exhaust fan using ESP32 and Blynk. The redesign is proposed because high air temperature or low air humidity does not always indicate that the growing medium requires additional water. The soil moisture sensor is used as the main irrigation parameter, while air temperature is used for ventilation control. The system uses ESP32 DevKit V1, a capacitive soil moisture sensor, DHT11, a dual-channel relay, a mini water pump, a DC fan, an OLED display, a water reservoir, drip tubing, a dripper, a 5V adapter, terminal blocks, an external electronics box, and the Blynk IoT Platform. Soil readings are converted from 12-bit ADC values into relative soil moisture percentages based on dry and wet calibration points. The rule-based logic activates the pump when soil moisture is below 55%, turns the fan on when temperature exceeds 30°C, and turns it off when temperature is equal to or below 28°C. Air humidity is used as microclimate information and warning, not as a direct pump trigger. The proposed design clarifies actuator roles, reduces overwatering risk, and simplifies implementation for a miniature chili greenhouse.

Keywords— smart greenhouse, ESP32, Blynk, chili plant, ventilation

I. PENDAHULUAN

Cabai merupakan tanaman hortikultura yang membutuhkan perawatan intensif karena pertumbuhan tanaman dipengaruhi oleh ketersediaan air pada media tanam dan kondisi mikroklimat di sekitar tanaman. Penyiraman yang terlalu jarang dapat menyebabkan media tanam kering, sedangkan penyiraman berlebihan dapat menurunkan aerasi media tanam dan meningkatkan risiko gangguan akar. Pada perawatan konvensional, pengecekan media tanam, suhu udara, kelembapan udara, dan penyiraman masih dilakukan secara manual sehingga kurang efisien ketika pemilik tanaman tidak berada di lokasi.

Internet of Things (IoT) memungkinkan sensor, mikrokontroler, aktuator, dan platform cloud saling terhubung untuk melakukan monitoring serta kontrol secara real time.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penyiraman otomatis berbasis kelembapan tanah dapat membantu pemantauan kondisi media tanam dan status pompa [1]. Sistem berbasis DHT11 dan Blynk juga telah digunakan untuk memantau suhu, kelembapan, serta mengendalikan aktuator dari jarak jauh [2], [3].

Pada rancangan awal, pompa air dapat aktif karena kelembapan tanah rendah, suhu udara tinggi, atau kelembapan udara rendah. Logika tersebut kurang tepat pada kasus suhu greenhouse tinggi tetapi tanah masih lembap. Apabila pompa aktif hanya karena suhu udara meningkat, media tanam dapat menerima air berlebih. Oleh karena itu, penelitian ini merevisi sistem menjadi smart greenhouse sederhana yang memisahkan fungsi aktuator: pompa air digunakan untuk memperbaiki

kondisi media tanam, sedangkan kipas exhaust digunakan untuk membuang udara panas dari ruang greenhouse.

Humidifier atau mist maker tidak digunakan pada rancangan akhir karena menambah kompleksitas sumber daya, wiring, wadah air, serta risiko paparan uap pada rangkaian elektronik. Kelembapan udara tetap dimonitor sebagai indikator mikroklimat, tetapi tidak menjadi pemicu langsung pompa atau aktuator tambahan. Pada miniatur greenhouse, kelembapan udara dapat terbentuk secara alami melalui penguapan air dari media tanam yang lembap dan transpirasi tanaman, terutama ketika ruang greenhouse menerima panas cahaya matahari.

Tujuan penelitian ini adalah: (1) merancang smart greenhouse cabai berbasis IoT menggunakan ESP32 dan Blynk; (2) menyusun logika kontrol penyiraman berbasis kelembapan tanah dan ventilasi berbasis suhu; (3) menyusun desain akrilik dan wiring berbasis relay dual channel; dan (4) menyusun pengujian fungsional sensor, aktuator, OLED, dan Blynk secara terstruktur.

A. Tinjauan Pustaka Singkat

Pengembangan smart greenhouse banyak menggunakan pendekatan rule-based dan platform IoT untuk mengatur sensor serta aktuator. Sistem greenhouse cabai berbasis Blynk IoT dan Fuzzy Mamdani telah digunakan untuk pemantauan serta penyiraman pintar [4]. Mini greenhouse berbasis IoT juga pernah menggabungkan fan, misting, shading net, dan Blynk untuk mengontrol suhu serta kelembapan [5]. Sistem lain memanfaatkan Blynk, sensor lingkungan, soil moisture, fan, humidifier, dan kontrol manual/otomatis pada greenhouse [6].

Penelitian berbasis ESP32, DHT11/DHT22, kipas, dan humidifier menunjukkan bahwa sensor suhu dan kelembapan udara dapat digunakan sebagai dasar pengendalian aktuator iklim [7]. Sistem irigasi tetes dan pemantauan iklim greenhouse berbasis ESP32 menegaskan pentingnya integrasi sensor kelembapan tanah, sensor iklim, dan mode otomatis/manual [8], [9]. Pada tanaman lain, kontrol rule-based smart greenhouse digunakan pada tomat, bawang merah, hidroponik, dan sistem produksi greenhouse modern [10]-[16]. Kajian terbaru menegaskan bahwa kontrol greenhouse modern mengelola suhu, kelembapan, cahaya, dan aktuator secara terpadu [17], sedangkan decision support berbasis IoT dapat digunakan untuk monitoring dan kontrol mikroklimat secara real time [18]. Rancangan miniatur smart greenhouse juga dapat menjadi media validasi sebelum pengembangan skala lebih besar [19], sementara integrasi greenhouse cerdas dengan energi dan monitoring lingkungan membuka peluang otomasi yang lebih mandiri [20].

Tabel 1. Ringkasan Penelitian Terdahulu

Peneliti	Objek	Komponen/Metode	Relevansi
Effendi dkk. [1]	Tanaman umum	ESP8266, soil moisture, relay, Blynk	Dasar irigasi tanah
Arief dkk. [4]	Cabai greenhouse	Blynk IoT, Fuzzy Mamdani	Pembandingan objek cabai
Putri dkk. [5]	Mini greenhouse	ESP32, fan, misting, Blynk	Acuan kontrol iklim
Shanto dkk. [6]	Greenhouse	Blynk, soil, fan, humidifier	Acuan dashboard

Peneliti	Objek	Komponen/Metode	Relevansi
Penelitian ini	Cabai	ESP32, soil, DHT11, pompa, kipas	Kontrol tanah dan ventilasi sederhana

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode Pengembangan

Metode yang digunakan adalah rancang bangun prototipe dengan tahapan analisis kebutuhan, perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, integrasi Blynk, kalibrasi sensor, penyusunan logika kontrol, dan pengujian fungsional. Pendekatan ini dipilih karena sistem berupa perangkat IoT yang perlu diuji berdasarkan fungsi sensor, aktuator, koneksi cloud, tampilan lokal, dan respons terhadap skenario lingkungan greenhouse.

Tahap analisis kebutuhan menentukan sensor dan aktuator inti. Tahap perancangan perangkat keras menentukan hubungan ESP32 dengan sensor soil moisture, DHT11, relay dual channel, pompa air, kipas exhaust, OLED, dan sumber daya eksternal. Tahap perangkat lunak menyusun pembacaan sensor, konversi nilai, pengiriman data ke Blynk, serta rule-based control. Tahap pengujian dilakukan melalui skenario tanah kering, tanah lembap dengan suhu tinggi, kelembapan udara rendah, mode manual, dan kegagalan koneksi.

B. Alat dan Bahan

Perangkat keras yang digunakan meliputi ESP32 DevKit V1 dengan expansion board, sensor soil moisture kapasitif v1.2, sensor DHT11, relay dual channel 5V, pompa air mini DC 5V, kipas DC 5V ukuran 40 mm atau 60 mm, OLED display 0,96 inci I2C, adaptor 5V 3A, tandon air, selang irigasi tetes 4 mm, dripper, terminal block, DC jack, saklar utama, grommet karet, box elektronik luar, kabel power, dan miniatur greenhouse akrilik. Perangkat lunak yang digunakan adalah Arduino IDE dan Blynk IoT Platform.

Komponen Utama Sistem Smart Greenhouse Cabai Berbasis IoT



Gambar 1. Komponen untuk prototipe smart greenhouse cabai.

Tabel II. Spesifikasi Komponen Wajib Sistem

Komponen	Spesifikasi	Nilai ukur/daya	Fungsi
ESP32 DevKit V1	WiFi 2,4 GHz, ADC 12-bit, logika 3,3V	3,3V/5V	Pengendali utama dan komunikasi IoT
Soil moisture kapasitif	AOUT ke GPIO34; dikalibrasi DRY/WET pada media yang sama	ADC 0-4095; V; %	Pemicu utama pompa
DHT11	DATA ke GPIO4; pembacaan suhu dan RH	°C dan %RH	Sensor suhu dan RH udara
Relay dual channel	5V, CH1/CH2; aktif LOW perlu diverifikasi	ON/OFF	Saklar pompa dan kipas
Pompa air mini	DC 5V; durasi ON 7 detik; debit uji ±39,3 mL/7 detik	mL/detik; ON/OFF	Irigasi media tanam
Kipas exhaust	DC 5V, 40/60 mm; lubang panel Ø38/Ø58 mm	ON >30°C	Ventilasi suhu
OLED 0,96 inci I2C	SDA/SCL; 128×64 piksel	Teks/status	Tampilan lokal
Adaptor 5V	Minimal 3A; disarankan 5A bila pompa/kipas lebih besar	Catu daya utama	Supply sistem
Tandon, selang, dripper	0,5-1 L; selang 4 mm; dripper 1-2 titik	Debit air	Jalur irigasi
Box, terminal, grommet	Box luar, screw terminal, grommet Ø8-12 mm	Keamanan wiring	Proteksi komponen

C. Perancangan Sistem

Arsitektur sistem terdiri dari bagian input, proses, output, dan monitoring. Input berasal dari sensor soil moisture untuk membaca kondisi media tanam serta DHT11 untuk membaca suhu dan kelembapan udara. ESP32 memproses data sensor, menampilkan informasi pada OLED, mengirim data ke Blynk, serta mengontrol relay pompa dan relay kipas. Air dari pompa diarahkan ke media tanam di sekitar pangkal tanaman cabai melalui selang irigasi tetes, bukan ke daun.

Arsitektur Sistem Smart Greenhouse Cabai Berbasis IoT

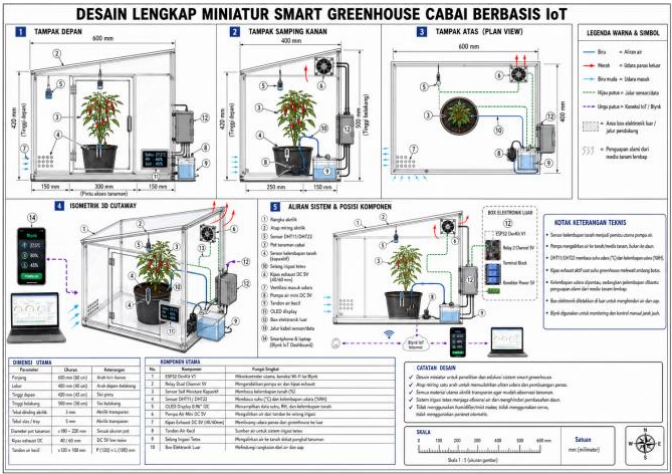


Gambar 2. Arsitektur sistem smart greenhouse cabai berbasis IoT tanpa humidifier, servo, dan paranet otomatis.

Kipas ditempatkan sebagai exhaust fan pada sisi atas kanan greenhouse karena udara panas cenderung bergerak ke bagian atas. Ventilasi masuk ditempatkan pada sisi bawah kiri atau sisi bawah berlawanan agar udara baru dapat masuk. Box elektronik ditempatkan di luar greenhouse sehingga ESP32, relay, terminal block, dan konektor daya tidak terpapar air atau uap.

D. Desain Miniatur Greenhouse Akrilik

Miniatur greenhouse dirancang berukuran panjang 600 mm, lebar 400 mm, tinggi depan 420 mm, dan tinggi belakang 500 mm. Dinding menggunakan akrilik bening 3 mm, sedangkan alas atau tray menggunakan akrilik 5 mm. Atap menggunakan model miring satu arah dengan overhang sekitar 10 mm pada setiap sisi. Panel depan dilengkapi pintu akses tanaman 300 mm x 250 mm agar perawatan tanaman dan pengambilan data lebih mudah.



Gambar 3. Blueprint lengkap miniatur smart greenhouse cabai berbasis IoT.

Tabel III. Daftar Panel Akrilik

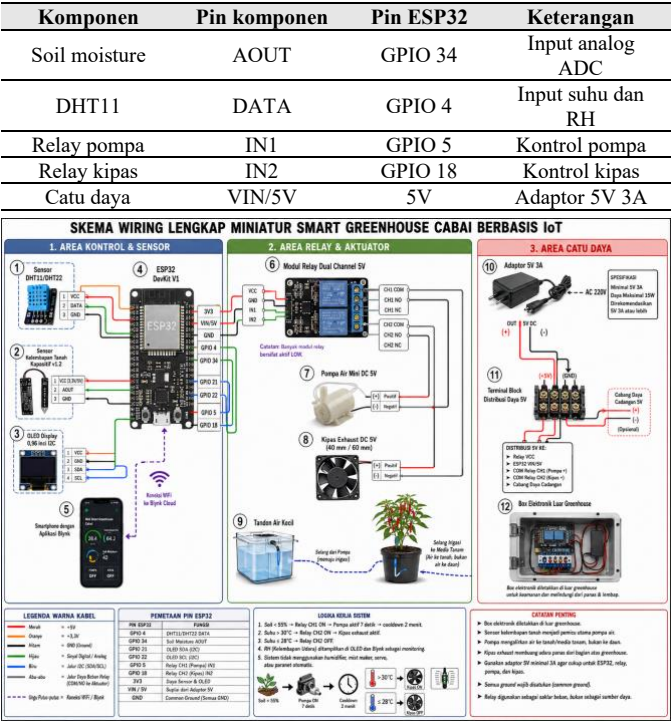
Panel	Ukuran	Tebal	Keterangan
Alas bawah	600 x 400 mm	5 mm	Tray dan dudukan sistem
Panel depan	600 x 420 mm	3 mm	Pintu akses dan OLED
Panel belakang	600 x 500 mm	3 mm	Ventilasi pasif bawah
Samping kiri	400 x 420/500 mm	3 mm	Ventilasi masuk bawah
Samping kanan	400 x 420/500 mm	3 mm	Lubang kipas, kabel, selang
Atap miring	620 x 420 mm	3 mm	Tanpa servo/paranet

E. Konfigurasi Pin dan Wiring

Relay dual channel digunakan karena rancangan final hanya memiliki dua aktuator, yaitu pompa air dan kipas exhaust. Relay CH1 digunakan untuk pompa, sedangkan relay CH2 digunakan untuk kipas. Pin GPIO ESP32 tidak digunakan sebagai sumber daya beban, tetapi hanya sebagai sinyal kontrol. Beban pompa dan kipas diberi catu daya dari adaptor 5V eksternal melalui kontak COM dan NO relay.

Tabel IV. Konfigurasi Pin ESP32

Komponen	Pin komponen	Pin ESP32	Keterangan
OLED	SDA	GPIO 21	Data I2C
OLED	SCL	GPIO 22	Clock I2C



Gambar 4. Skema wiring lengkap sistem menggunakan relay dual channel untuk pompa dan kipas.

Semua ground harus disatukan sebagai common ground, yaitu GND ESP32, GND relay, GND adaptor, GND pompa, dan GND kipas. Jalur daya pompa dan kipas sebaiknya menggunakan kabel power merah-hitam yang lebih tebal dibanding jumper sensor. Kabel jumper digunakan untuk sinyal sensor dan input relay, bukan untuk jalur beban arus aktuator. Catatan teknis: karena ESP32 menggunakan logika 3,3V, modul relay dual channel 5V perlu diuji terlebih dahulu untuk memastikan input IN1 dan IN2 dapat merespons sinyal GPIO ESP32. Pada modul relay aktif LOW, kondisi LOW digunakan untuk mengaktifkan relay, sedangkan HIGH digunakan untuk mematikan relay. Jika modul relay tidak merespons stabil terhadap 3,3V, gunakan driver transistor, optocoupler yang sesuai, atau modul relay yang kompatibel dengan sinyal 3,3V.

F. Datastream dan Dashboard Blynk

Platform Blynk digunakan untuk monitoring dan kontrol manual jarak jauh. Dashboard menggunakan widget gauge untuk data sensor, switch untuk mode manual/otomatis, serta indikator status aktuator. Pada mode manual, pengguna dapat menyalakan atau mematikan pompa dan kipas melalui smartphone. Pada mode otomatis, keputusan diambil oleh ESP32 berdasarkan ambang batas sensor.

Tabel V. Datastream pada Platform Blynk

Virtual Pin	Fungsi	Satuan/Status
V0	Kelembapan tanah	%
V1	Suhu udara	°C
V2	Kelembapan udara	%RH
V3	Status/kontrol pompa	ON/OFF
V4	Mode auto/manual	0/1
V5	Status/kontrol kipas	ON/OFF
V6	Status sistem	Teks



Gambar 5. Visualisasi dashboard Blynk pada laptop dan smartphone untuk monitoring smart greenhouse.

G. Kalibrasi dan Rumus Pengukuran

Sensor soil moisture tidak membaca persentase kelembapan secara langsung. Sensor menghasilkan tegangan analog yang dibaca oleh ADC ESP32 sebagai nilai count. Karena ESP32 menggunakan ADC 12-bit, rentang nilai digital berada pada 0 sampai 4095. Pada sensor kapasitif yang digunakan, nilai ADC cenderung lebih tinggi ketika media kering dan lebih rendah ketika media basah. Oleh karena itu persentase 0-100% ditentukan dari dua titik kalibrasi, yaitu DRY_VAL dan WET_VAL.

$$V_ADC = (ADC / 4095) \times 3,3 \text{ V} \tag{1}$$

$$\text{Soil (\%)} = ((\text{DRY_VAL} - \text{ADC_baca}) / (\text{DRY_VAL} - \text{WET_VAL})) \times 100\% \tag{2}$$

$$\text{ADC_target} = \text{DRY_VAL} - (\text{Soil_target} / 100 \times (\text{DRY_VAL} - \text{WET_VAL})) \tag{3}$$

Nilai DRY_VAL diperoleh ketika sensor berada pada media sangat kering atau udara bebas, sedangkan WET_VAL diperoleh ketika sensor berada pada media basah. Pada prototipe ini digunakan DRY_VAL = 4095 count dan WET_VAL = 1500 count. Nilai 0% berarti titik kering relatif, sedangkan 100% berarti titik basah relatif. Nilai ini bukan kadar air volumetrik mutlak, tetapi cukup untuk kontrol prototipe selama kalibrasi dilakukan pada media tanam yang sama.

Tabel VI. Acuan Kalibrasi Soil Moisture 0-100%

Kondisi acuan	Soil (%)	ADC acuan	V_ADC	Makna kontrol
Sensor di udara/media sangat kering	0	4095	3,30 V	Titik kering kalibrasi
Media kering	25	3446	2,78 V	Tanah sangat kurang air
Mendekati batas kering	50	2798	2,25 V	Perlu dipantau
Ambang pompa ON	55	2668	2,15 V	Pompa mulai aktif
Tanah cukup lembap	70	2279	1,84 V	Pompa OFF
Media basah	100	1500	1,21 V	Titik basah kalibrasi

$$e_x = |x_sensor - x_referensi| \tag{4}$$

$$\Delta T = T_{awal} - T_{akhir}$$

(5)

$$Q = \text{Volume_air} / t_{pompa}$$

(6)

$$t_{\text{respons}} = t_{\text{aktuator_ON}} - t_{\text{kondisi_terdeteksi}}$$

(7)

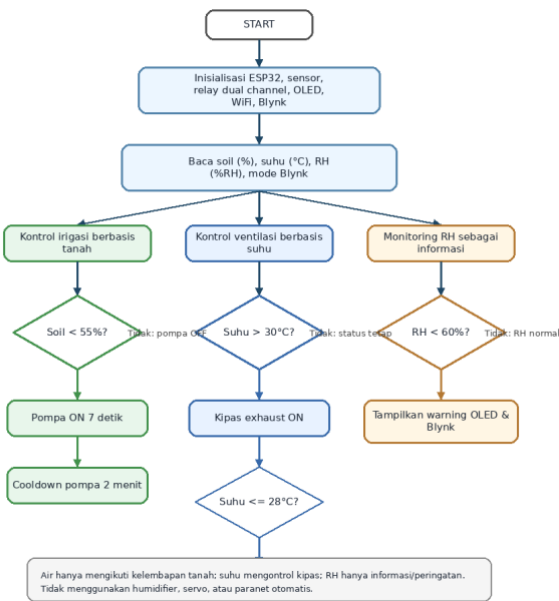
Tabel VII. Ambang Batas Kontrol Sistem

Parameter	Ambang	Respons sistem
Kelembapan tanah	< 55%	Pompa ON 7 detik
Kelembapan tanah	55-70%	Pompa OFF, tanah cukup
Kelembapan tanah	> 70%	Pompa OFF, tanah basah
Suhu udara	> 30°C	Kipas exhaust ON
Suhu udara	<= 28°C	Kipas exhaust OFF
RH udara	< 60%	Warning OLED/Blynk
Loop sistem	5 detik	Update sensor dan Blynk

H. Logika Kerja Otomatis

Logika otomatis dibuat dengan prioritas keamanan tanaman. Kelembapan tanah menjadi penentu utama penyiraman. Ketika tanah kering dengan nilai kurang dari 55%, pompa aktif selama 7 detik lalu masuk cooldown 2 menit. Ketika tanah masih lembap, pompa tetap OFF meskipun suhu udara tinggi. Suhu udara digunakan untuk mengontrol kipas exhaust. Kipas aktif ketika suhu lebih dari 30°C dan mati kembali ketika suhu turun sampai 28°C atau lebih rendah.

Flowchart Kontrol Smart Greenhouse Tanpa Humidifier



Gambar 6. Flowchart kontrol otomatis smart greenhouse tanpa humidifier dan tanpa paranet otomatis.

Histeresis suhu digunakan agar kipas tidak sering berubah status ketika suhu berada di sekitar ambang batas. Kelembapan udara digunakan sebagai informasi monitoring. Apabila RH kurang dari 60%RH, sistem menampilkan peringatan udara kering pada OLED dan Blynk. Peringatan tersebut tidak langsung menyalakan pompa karena pompa hanya berkaitan dengan kondisi media tanam.

I. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan secara bertahap untuk memastikan sensor, aktuator, OLED, dan Blynk bekerja sesuai rancangan. Data yang dicatat meliputi waktu pengujian, nilai ADC soil moisture, tegangan ADC, persentase kelembapan tanah, suhu udara, RH udara, status pompa, status kipas, pesan OLED, status Blynk, dan waktu respons aktuator. Skenario utama disusun untuk membuktikan bahwa suhu tinggi tidak lagi mengaktifkan pompa jika tanah masih lembap.

Tabel VIII. Skenario Pengujian Sistem

Skenario	Kondisi sensor	Respons yang diharapkan
Tanah kering	Soil < 55%	Pompa ON 7 detik, cooldown 2 menit
Tanah lembap suhu tinggi	Soil >= 65%, suhu > 30°C	Pompa OFF, kipas ON
Tanah kering suhu tinggi	Soil < 55%, suhu > 30°C	Pompa ON dan kipas ON
Suhu normal	Suhu <= 28°C	Kipas OFF
RH rendah	RH < 60%	Warning, tanpa pompa
Mode manual	Tombol Blynk	Aktuator mengikuti perintah
WiFi putus	Koneksi Blynk offline	Kontrol lokal tetap berjalan

J. Rancangan Jalur Air dan Ventilasi

Jalur air dibuat sesingkat mungkin agar tekanan pompa mini tidak banyak berkurang. Tandon air ditempatkan di sisi kanan bawah, pompa berada dekat tandon, kemudian selang diarahkan masuk melalui lubang grommet menuju pot tanaman. Ujung selang menggunakan dripper atau ujung tetes kecil agar air jatuh pada media tanam dekat pangkal tanaman. Jalur ini sengaja tidak diarahkan ke daun karena tujuan utama penyiraman adalah memperbaiki kelembapan media tanam di zona akar.

Ventilasi dirancang dengan prinsip aliran silang. Lubang udara masuk berada di bagian bawah kiri, sedangkan kipas exhaust berada pada sisi atas kanan. Ketika kipas aktif, udara panas yang terkumpul pada bagian atas greenhouse dikeluarkan, sementara udara dari luar masuk melalui lubang bawah. Pengaturan ini membuat kipas tidak hanya mengaduk udara di dalam ruang, tetapi juga membantu mengganti udara panas dengan udara baru dari luar.

Tabel IX. Spesifikasi Jalur Air dan Ventilasi

Bagian	Spesifikasi	Fungsi
Tandon air	±120 x 100 mm atau 0,5-1 liter	Sumber air pompa
Selang irigasi	Selang 4 mm, panjang 1-2 m	Mengalirkan air ke pot
Dripper	1-2 titik tetes	Mengatur keluaran air dekat akar
Lubang selang	Ø8-10 mm + grommet	Jalur masuk selang ke greenhouse
Ventilasi masuk	3 baris x 6 lubang Ø8 mm	Udara masuk dari sisi bawah
Kipas exhaust	40 mm atau 60 mm DC 5V	Membuang udara panas dari sisi atas

K. Rancangan Catu Daya dan Keamanan Wiring

Sistem menggunakan adaptor 5V minimal 3A sebagai sumber daya utama untuk ESP32, relay, pompa, dan kipas. ESP32 dapat diberi daya melalui VIN/5V pada expansion board, sedangkan pompa dan kipas diberi daya melalui kontak relay. Relay hanya berfungsi sebagai saklar beban, bukan

sebagai sumber daya. Oleh karena itu jalur positif beban dilewatkan melalui COM dan NO relay, sedangkan jalur negatif beban kembali langsung ke GND adaptor.

Tabel X. Estimasi Kebutuhan Arus dan Daya

Komponen	Tegangan	Arus estimasi	Catatan
ESP32 + expansion board	5V	200-300 mA	Aktif terus
Relay dual channel	5V	70-150 mA	Tergantung status relay
Pompa air mini	5V	300-800 mA	Aktif 7 detik
Kipas DC 60 mm	5V	150-300 mA	Aktif saat suhu tinggi
OLED + sensor	3,3V/5V	<100 mA	Beban kecil
Total puncak	5V	±1,4-1,7 A	Adaptor 5V 3A aman

Prinsip keselamatan wiring yang diterapkan adalah memisahkan jalur sinyal dan jalur beban. Jalur sinyal sensor dan input relay menggunakan kabel jumper, sedangkan jalur pompa dan kipas menggunakan kabel power merah-hitam. Semua sambungan kabel pada box elektronik disarankan memakai terminal block agar tidak mudah lepas. Lubang kabel dan selang pada panel akrilik diberi grommet karet untuk mencegah kabel tergores oleh tepi akrilik.

Tabel XI. Pembagian Jalur Catu Daya

Jalur	Tegangan	Komponen	Catatan
3,3V	3,3V DC	DHT11, soil moisture, OLED	Diambil dari ESP32/expansion board
5V kontrol	5V DC	Relay dual channel	VCC relay dari adaptor/board 5V
5V beban CH1	5V DC	Pompa air	Lewat COM-NO relay CH1
5V beban CH2	5V DC	Kipas exhaust	Lewat COM-NO relay CH2
GND bersama	0V	ESP32, relay, sensor, aktuator	Wajib common ground

L. Algoritma Program dan Parameter Data

Program dibuat tanpa delay panjang pada loop utama agar pembacaan sensor, pembaruan OLED, dan komunikasi Blynk tetap berjalan. Delay hanya digunakan pada proses aktuator yang durasinya jelas, misalnya pompa aktif 7 detik. Pada implementasi yang lebih stabil, pengaturan durasi dapat menggunakan fungsi millis() sehingga sistem tetap responsif ketika aktuator bekerja.

Tabel XII. Ringkasan Algoritma Kontrol

Urutan	Proses	Keluaran
1	Inisialisasi ESP32, WiFi, Blynk, OLED, relay	Sistem siap membaca sensor
2	Baca ADC soil, suhu, dan RH	Data mentah sensor
3	Konversi ADC menjadi soil (%)	Nilai kelembapan relatif media tanam
4	Kirim V0, V1, V2 ke Blynk	Dashboard diperbarui
5	Cek mode auto/manual dari V4	Menentukan sumber perintah
6	Jika soil <55% dan tidak cooldown	Pompa ON 7 detik
7	Jika suhu >30°C	Kipas ON
8	Jika suhu <=28°C	Kipas OFF

Urutan	Proses	Keluaran
9	Jika RH <60%	Warning OLED dan Blynk

Setiap pengujian perlu menyimpan data mentah sensor dan status aktuator. Data mentah penting karena persentase kelembapan tanah merupakan hasil kalibrasi dari ADC, bukan pembacaan mutlak. Setiap pengujian mencatat kondisi awal, perlakuan, nilai sensor sebelum dan sesudah aksi, serta respons aktuator.

Tabel XIII. Parameter Data yang Dicatat

Parameter	Satuan	Tujuan pengukuran
ADC soil moisture	count	Mengetahui nilai mentah sensor tanah
V_ADC	V	Memastikan keluaran sensor wajar
Soil moisture	%	Menentukan status kering/cukup/basah
Suhu udara	°C	Menentukan respons kipas exhaust
RH udara	%RH	Monitoring iklim mikro
Status pompa	ON/OFF	Validasi kontrol penyiraman
Status kipas	ON/OFF	Validasi kontrol ventilasi
Waktu respons	detik	Mengukur kecepatan sistem

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Rancangan Perangkat

Implementasi perangkat dilakukan dengan memasang ESP32 pada expansion board, menghubungkan sensor DHT11, sensor soil moisture kapasitif, relay dual channel, OLED, pompa, dan kipas sesuai konfigurasi pin. Relay diposisikan sebagai saklar elektronik yang memutus dan menyambungkan arus aktuator. Pompa diletakkan di dekat tandon air dan dihubungkan dengan selang menuju media tanam cabai. Kipas dipasang pada sisi atas kanan sebagai exhaust fan.



Gambar 7. Visualisasi prototipe smart greenhouse cabai setelah dirakit.

Box elektronik ditempatkan di luar greenhouse dan dihubungkan dengan grommet kabel agar jalur sensor serta aktuator rapi. OLED ditempatkan pada panel depan luar agar pengguna dapat membaca data lokal tanpa membuka pintu greenhouse. Sensor DHT11 digantung di tengah atas agar

membaca udara greenhouse, sedangkan soil moisture ditanam pada media tanam dekat akar.

B. Hasil Kalibrasi Soil Moisture

Tabel XIV. Contoh Kalibrasi Sensor Soil Moisture

Kondisi	ADC	V_ADC (V)	Soil (%)
Sensor udara/kering	4095	3,30	0,0
Media kering	3446	2,78	25,0
Mendekati batas	2798	2,25	50,0
Ambang pompa ON	2668	2,15	55,0
Media cukup lembap	2279	1,84	70,0
Media basah	1500	1,21	100,0

Tabel XIV menunjukkan bahwa nilai ADC menurun ketika media semakin basah. Dengan DRY_VAL 4095 dan WET_VAL 1500, ambang pompa ON pada 55% berada di sekitar ADC 2668 atau 2,15 V. Nilai 55% dipilih sebagai batas awal tanah kering pada prototipe agar pompa tidak menunggu sampai media terlalu kering, tetapi tetap memiliki cooldown untuk menghindari air berlebih.

C. Validasi Sensor DHT11 dan Aktuator

Tabel XV. Validasi DHT11 terhadap Alat Pemandang

No	Suhu DHT11	Suhu ref.	Error	RH DHT11	RH ref.	Error
1	27,1°C	26,8°C	0,3°C	70%	71%	1%
2	31,2°C	30,7°C	0,5°C	64%	66%	2%
3	33,1°C	32,6°C	0,5°C	58%	60%	2%
Rata-rata	-	-	0,43°C	-	-	1,7%

Tabel XVI. Pengujian Debit Pompa 5V

Percobaan	Durasi	Volume air	Debit rata-rata
1	7 detik	38 mL	5,4 mL/detik
2	7 detik	41 mL	5,9 mL/detik
3	7 detik	39 mL	5,6 mL/detik
Rata-rata	7 detik	39,3 mL	5,6 mL/detik

Tabel XVII. Efektivitas Kipas Exhaust

Skenario	Suhu awal	Setelah 5 menit	Delta T	Status
Uji 1	33,1°C	31,8°C	1,3°C	Kipas ON
Uji 2	32,5°C	31,4°C	1,1°C	Kipas ON
Uji 3	31,6°C	30,7°C	0,9°C	Kipas ON
Rata-rata	32,4°C	31,3°C	1,1°C	Ventilasi efektif

Hasil validasi menunjukkan bahwa DHT11 cukup untuk prototipe pembelajaran, tetapi masih memiliki galat terhadap alat pembeding. Uji pompa menunjukkan penyiraman selama 7 detik menghasilkan sekitar 39 mL air, sehingga cooldown 2 menit diperlukan agar air meresap ke media tanam. Uji kipas menunjukkan adanya penurunan suhu rata-rata sekitar 1,1°C setelah 5 menit pada ruang mini greenhouse tertutup.

D. Hasil Pengujian Fungsional Sistem

Tabel XVIII. Data Pengujian Sensor

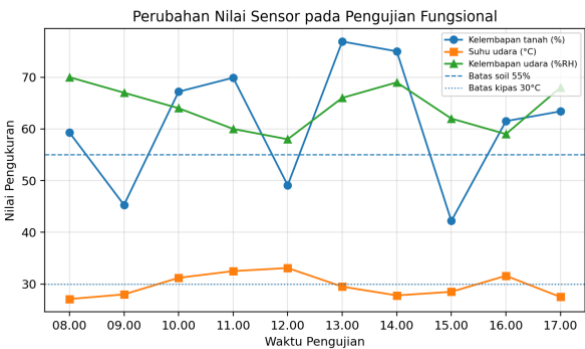
Waktu	ADC	V_ADC	Soil (%)	Suhu (°C)	RH (%)
08.00	2555	2.06	59.3	27.1	70
09.00	2920	2.35	45.3	28.0	67
10.00	2350	1.89	67.2	31.2	64
11.00	2280	1.84	69.9	32.5	60
12.00	2820	2.27	49.1	33.1	58

Waktu	ADC	V_ADC	Soil (%)	Suhu (°C)	RH (%)
13.00	2100	1.69	76.9	29.5	66
14.00	2150	1.73	75.0	27.8	69
15.00	3000	2.42	42.2	28.5	62
16.00	2500	2.01	61.5	31.6	59
17.00	2450	1.97	63.4	27.5	68

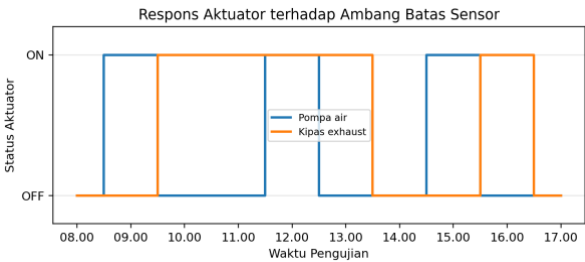
Tabel XIX. Data Status Aktuator

Waktu	Pompa	Kipas	Kondisi
08.00	OFF	OFF	normal
09.00	ON	OFF	tanah kering
10.00	OFF	ON	kipas aktif
11.00	OFF	ON	kipas aktif
12.00	ON	ON	tanah kering, kipas aktif, RH rendah
13.00	OFF	ON	kipas aktif
14.00	OFF	OFF	normal
15.00	ON	OFF	tanah kering
16.00	OFF	ON	kipas aktif, RH rendah
17.00	OFF	OFF	normal

Berdasarkan Tabel XVIII dan Tabel XIX, sistem merespons kondisi tidak ideal sesuai logika yang dirancang. Pada pukul 09.00, soil berada di bawah 55% sehingga pompa aktif. Pada pukul 10.00 dan 11.00, suhu lebih dari 30°C sehingga kipas aktif, tetapi pompa tetap OFF karena soil masih cukup. Pada pukul 12.00, soil turun di bawah batas dan suhu tinggi sehingga pompa dan kipas sama-sama aktif. Pada pukul 16.00, RH 59% hanya menghasilkan peringatan, sedangkan aksi aktuator tetap ditentukan oleh soil dan suhu.



Gambar 8. Grafik perubahan suhu, kelembapan udara, dan kelembapan tanah pada pengujian fungsional.



Gambar 9. Respons pompa dan kipas terhadap nilai sensor selama pengujian.

E. Pengujian OLED, Blynk, dan Mode Manual

Pengujian OLED dilakukan dengan membandingkan nilai yang tampil pada layar lokal terhadap data yang dikirimkan ke Blynk. OLED menampilkan suhu, RH, soil, status pompa, status kipas, dan mode sistem. Pengujian Blynk dilakukan

melalui dashboard laptop dan smartphone dengan datastream V0 sampai V6. Pada mode manual, pengguna dapat mengaktifkan pompa atau kipas melalui tombol Blynk, sedangkan pada mode otomatis ESP32 mengambil keputusan berdasarkan ambang batas sensor.

Tabel XX. Hasil Pengujian OLED dan Blynk

Pengujian	Parameter	Hasil pengamatan	Status
OLED	Suhu, RH, soil	Nilai tampil dan berubah sesuai sensor	Berhasil
Blynk V0-V2	Data sensor	Gauge menampilkan data terbaru	Berhasil
Blynk V3	Pompa	Switch manual mengubah status pompa	Berhasil
Blynk V5	Kipas	Switch manual mengubah status kipas	Berhasil
Blynk V6	Status sistem	Normal, tanah kering, suhu tinggi, atau RH rendah	Berhasil
Koneksi WiFi	Putus sementara	Kontrol otomatis lokal tetap berjalan	Berhasil

F. Analisis Waktu Respons

Waktu respons dihitung dari selisih waktu ketika kondisi terdeteksi dan saat relay berubah status. Pada pengujian fungsional, respons aktuator berada di bawah satu interval loop karena program membaca sensor setiap 5 detik. Relay pompa dan kipas secara fisik berpindah hampir seketika setelah GPIO berubah, tetapi pengguna dapat melihat pembaruan dashboard Blynk dengan latensi yang bergantung pada koneksi WiFi.

Tabel XXI. Ringkasan Waktu Respons Sistem

Kondisi uji	Nilai pemicu	Respons	Waktu respons
Tanah kering	Soil 43,7%	Pompa ON	<= 5 detik
Suhu tinggi	31,2°C	Kipas ON	<= 5 detik
Suhu turun	27,8°C	Kipas OFF	<= 5 detik
RH rendah	58-59%RH	Warning OLED/Blynk	<= 5 detik
Mode manual	Switch Blynk	Aktuator mengikuti tombol	1-3 detik
Cooldown pompa	Setelah pompa ON	Pompa terkunci OFF	120 detik

Mekanisme cooldown pompa selama 120 detik penting karena air memerlukan waktu untuk meresap pada media tanam. Tanpa cooldown, pembacaan sensor dapat belum berubah secara signifikan sehingga pompa berisiko aktif berulang dan menyebabkan overwatering. Kipas tidak menggunakan cooldown yang sama, tetapi menggunakan histeresis suhu 30°C dan 28°C agar tidak sering ON/OFF.

G. Pembahasan Revisi Rancangan

Perubahan paling penting dari sistem awal adalah pemisahan fungsi sensor dan aktuator. Pada sistem awal, pompa dapat aktif karena soil rendah, suhu tinggi, atau RH rendah. Rancangan final mengubah logika tersebut menjadi lebih spesifik: soil

moisture hanya mengontrol pompa, suhu mengontrol kipas, sedangkan RH hanya menjadi informasi peringatan. Prinsip ini membuat aksi sistem lebih sesuai dengan kondisi fisik tanaman.

Pada tanaman cabai, tanah yang masih lembap tidak perlu disiram ulang hanya karena suhu greenhouse meningkat. Suhu tinggi lebih tepat ditangani dengan ventilasi aktif agar udara panas yang terperangkap dapat keluar. Kipas exhaust tetap memiliki keterbatasan karena tidak dapat menurunkan suhu di bawah suhu udara luar, tetapi kipas dapat mengurangi akumulasi panas di ruang tertutup. Kelembapan udara dipantau karena dapat memberikan informasi kondisi iklim mikro, namun tidak dipakai untuk memicu pompa.

Tabel XXII. Perbandingan Rancangan Awal dan Rancangan Final

Aspek	Rancangan awal	Rancangan final
Fokus sistem	Penyiram otomatis	Smart greenhouse sederhana
Pemicu pompa	Soil, suhu, atau RH	Hanya soil < 55%
Suhu tinggi	Dapat memicu pompa	Memicu kipas exhaust
RH rendah	Dapat memicu pompa	Warning monitoring
Humidifier/mist maker	Dipertimbangkan	Dihapus
Relay	1 channel	Dual channel
Risiko overwatering	Lebih tinggi	Lebih rendah

H. Kelebihan, Keterbatasan, dan Risiko

Kelebihan sistem adalah penggunaan komponen yang mudah diperoleh, biaya implementasi relatif rendah, dan wiring lebih sederhana karena hanya menggunakan dua aktuator. ESP32 memungkinkan perangkat tersambung langsung ke WiFi tanpa modul tambahan. OLED membantu pengguna melihat status lokal, sedangkan Blynk membantu monitoring dan kontrol manual dari jarak jauh. Desain akrilik transparan memudahkan observasi posisi sensor, jalur air, aliran ventilasi, dan kondisi tanaman.

Keterbatasan sistem terletak pada akurasi DHT11 yang tidak setinggi DHT22 atau sensor seri SHT. Nilai soil moisture juga bersifat relatif terhadap hasil kalibrasi, bukan kadar air volumetrik mutlak. Pengujian pada penelitian ini berfokus pada validasi fungsional prototipe dan skenario ukur. Pengujian lanjutan perlu dilakukan pada tanaman cabai selama beberapa minggu untuk melihat dampak sistem terhadap pertumbuhan tanaman, efisiensi penggunaan air, dan kestabilan media tanam.

Tabel XXIII. Analisis Risiko Sistem

Risiko	Penyebab	Mitigasi
Overwatering	Pompa aktif terlalu sering	Cooldown 2 menit dan soil sebagai pemicu
Pembacaan soil tidak stabil	Sensor belum dikalibrasi	Ambil rata-rata ADC dan kalibrasi DRY/WET
Koneksi Blynk putus	WiFi tidak stabil	Kontrol otomatis tetap berjalan lokal
Kipas tidak efektif	Ventilasi masuk kurang	Tambahkan lubang masuk udara bawah
Kabel lembap	Box terlalu dekat ruang tanam	Box elektronik wajib di luar
Tegangan drop	Adaptor kurang arus	Gunakan adaptor 5V minimal 3A

I. Rencana Pengujian Jangka Panjang

Pengujian fungsional membuktikan bahwa sensor dan aktuator merespons sesuai logika. Namun, untuk menilai manfaat terhadap tanaman cabai, diperlukan pengujian jangka panjang selama 14 sampai 28 hari dengan membandingkan tanaman yang dirawat menggunakan sistem otomatis dan tanaman kontrol dengan penyiraman manual. Data yang diamati meliputi kelembapan tanah harian, jumlah penyiraman, volume air, suhu maksimum, RH minimum, tinggi tanaman, jumlah daun, dan kondisi visual tanaman.

Tabel XXIV. Rencana Pengujian Jangka Panjang

Hari	Data utama	Tujuan
1-3	Kalibrasi sensor dan uji kebocoran	Memastikan alat stabil
4-7	Soil, suhu, RH, status aktuator	Melihat pola respons harian
8-14	Volume air dan frekuensi pompa	Mengukur efisiensi penyiraman
15-21	Tinggi tanaman dan jumlah daun	Mengamati dampak perawatan otomatis
22-28	Perbandingan dengan penyiraman manual	Menilai keunggulan sistem otomatis

J. Interpretasi Hasil dan Kriteria Keberhasilan

Sistem dianggap berhasil apabila pompa hanya aktif ketika kelembapan tanah berada di bawah ambang, kipas aktif ketika suhu melewati ambang, dan RH rendah hanya menghasilkan peringatan tanpa memicu pompa. Kriteria ini penting karena tujuan revisi bukan menambah jumlah aktuator, melainkan memperbaiki logika keputusan agar setiap aktuator menangani masalah yang sesuai.

Tabel XXV. Kriteria Keberhasilan Sistem

Aspek	Indikator keberhasilan	Batas evaluasi
Pompa otomatis	ON saat soil <55%	Tidak aktif pada tanah lembap
Kipas exhaust	ON saat suhu >30°C	OFF kembali saat ≤28°C
RH monitoring	Warning saat RH <60%	Tidak memicu pompa
OLED	Menampilkan soil, suhu, RH, status	Update setiap ±5 detik
Blynk	Dashboard menerima V0-V6	Online dan tombol manual bekerja
Keamanan wiring	Tidak ada kabel panas/longgar	GND disatukan dan terminal rapi

K. Checklist Implementasi dan Validasi

Checklist implementasi ditambahkan agar rancangan prototipe dapat direplikasi secara konsisten. Checklist ini berisi komponen wajib yang harus tersedia pada sistem final tanpa humidifier, servo, dan paranet otomatis. Komponen pada checklist dibatasi pada komponen yang langsung memengaruhi fungsi sensor, aktuator, catu daya, jalur air, ventilasi, dan keamanan wiring.

Tabel XXVI. Checklist Komponen Wajib Sistem Final

Kelompok	Komponen wajib	Jumlah	Status/Fungsi
Kontrol	ESP32 DevKit V1 + expansion board	1 set	Pengendali utama, WiFi, ADC
Sensor	Soil moisture kapasitif v1.2	1 pcs	Pemicu utama pompa air
Sensor	DHT11	1 pcs	Baca suhu dan RH greenhouse

Kelompok	Komponen wajib	Jumlah	Status/Fungsi
Aktuator	Pompa air mini DC 5V	1 pcs	Irigasi media tanam
Aktuator	Kipas exhaust DC 5V 40/60 mm	1 pcs	Membuang udara panas
Saklar beban	Relay dual channel 5V	1 pcs	CH1 pompa, CH2 kipas
Tampilan	OLED 0,96 inci I2C	1 pcs	Status lokal
Catu daya	Adaptor 5V minimal 3A	1 pcs	Supply sistem
Jalur air	Tandon, selang 4 mm, dripper	1 set	Air ke media tanam
Proteksi	Box elektronik, terminal block, grommet	1 set	Keamanan wiring

Selain komponen utama, validasi pengujian harus memastikan bahwa data mentah sensor tersimpan dan setiap aksi aktuator memiliki alasan yang jelas. Data ADC dan tegangan sensor tanah diperlukan untuk menelusuri perhitungan soil (%), sedangkan data debit pompa dan perubahan suhu digunakan untuk membuktikan bahwa aktuator benar-benar memberi dampak fisik pada sistem.

Tabel XXVII. Checklist Validasi Pengujian

Aspek validasi	Data yang harus dicatat	Kriteria lulus
Kalibrasi soil	DRY_VAL, WET_VAL, ADC target 55%	Rentang 0-100% terbentuk jelas
Validasi DHT11	Suhu/RH sensor dan alat referensi	Galat dicatat dan dibahas
Debit pompa	Volume air keluar selama 7 detik	Rata-rata debit diketahui
Efektivitas kipas	Suhu awal, suhu akhir, durasi	Ada penurunan/pelepasan panas
Blynk	V0-V6, status online, tombol manual	Dashboard menerima data
Keamanan wiring	Tegangan 5V, common ground, terminal	Tidak ada kabel panas/longgar
Logika final	Soil lembap + suhu tinggi	Pompa OFF, kipas ON

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan rancangan smart greenhouse cabai berbasis IoT menggunakan ESP32, sensor soil moisture kapasitif, DHT11, relay dual channel, pompa air mini, kipas exhaust, OLED display, dan Blynk. Sistem final tidak menggunakan humidifier, mist maker, servo, maupun paranet otomatis. Pompa air hanya dikendalikan oleh kelembapan tanah, sedangkan kipas exhaust dikendalikan oleh suhu udara. Kelembapan udara dipantau sebagai indikator iklim mikro dan ditampilkan sebagai peringatan jika berada di bawah batas yang ditentukan.

Hasil pengujian fungsional menunjukkan bahwa sistem dapat membaca sensor, mengonversi ADC soil moisture menjadi persentase kelembapan relatif, menampilkan data pada OLED, mengirim data ke Blynk, mengaktifkan pompa ketika soil kurang dari 55%, dan mengaktifkan kipas ketika suhu lebih

dari 30°C. Pada kondisi tanah lembap dan suhu tinggi, pompa tetap OFF sehingga rancangan final lebih aman dari risiko overwatering dibanding rancangan awal.

V. SARAN

Pengembangan berikutnya dapat dilakukan dengan mengganti DHT11 menjadi DHT22 atau SHT31 agar pembacaan suhu dan RH lebih stabil. Pengujian jangka panjang perlu dilakukan pada tanaman cabai selama beberapa minggu untuk mengevaluasi pengaruh sistem terhadap pertumbuhan tanaman, penggunaan air, dan kestabilan media tanam. Sistem juga dapat ditambah penyimpanan data historis pada database atau spreadsheet untuk analisis tren kelembapan tanah, suhu, dan RH.

REFERENSI

- [1] N. Effendi, W. Ramadhani, F. Farida, and M. Dimas, "Perancangan sistem penyiraman tanaman otomatis menggunakan sensor kelembapan tanah berbasis IoT," *Jurnal Computer Science and Information Technology (CoSciTech)*, vol. 3, no. 2, pp. 91-98, Aug. 2022, doi: 10.37859/coscitech.v3i2.3923.
- [2] W. A. Prayitno, A. Muttaqin, and D. Syaury, "Sistem Monitoring Suhu, Kelembaban, dan Pengendali Penyiraman Tanaman Hidroponik menggunakan Blynk Android," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 1, no. 4, pp. 292-297, Apr. 2017.
- [3] R. Doni and M. Rahman, "Sistem Monitoring Tanaman Hidroponik Berbasis IoT (Internet of Thing) Menggunakan Nodemcu ESP8266," *Jurnal Sains Komputer & Informatika (J-SAKTI)*, vol. 4, no. 2, pp. 516-522, Sep. 2020.
- [4] Z. Arief, H. Zarory, J. Jufrizel, and D. Mursyitah, "Rancang bangun sistem pemantauan dan penyiraman pintar tanaman cabai pada greenhouse menggunakan Fuzzy Mamdani berbasis Blynk IoT," *AITI*, vol. 21, no. 2, pp. 271-284, Sep. 2024, doi: 10.24246/aiti.v21i2.271-284.
- [5] R. E. Putri, N. U. Lestari, Ifmalinda, F. Arlius, I. Putri, and A. Hasan, "Monitoring and Controlling System of Smart Mini Greenhouse Based on Internet of Things (IoT) for Spinach Plant (*Amaranthus sp.*)," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 14, no. 1, pp. 131-136, Feb. 2024, doi: 10.18517/ijaseit.14.1.18408.
- [6] S. S. Shanto, M. Rahman, J. M. Oasik, and H. Hossain, "Smart Greenhouse Monitoring System Using Blynk IoT App," *Journal of Engineering Research and Reports*, vol. 25, no. 2, pp. 94-107, 2023, doi: 10.9734/JERR/2023/v25i2883.
- [7] M. A. Bustomi, Q. Riauwindu, A. I. Suhiyar, and B. Indarto, "Smart greenhouse based ESP32 with IoT system for automatic monitoring and control," *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 3132, no. 1, Art. no. 012007, 2025, doi: 10.1088/1742-6596/3132/1/012007.
- [8] J. J. Correa-Quiroz, M. A. Toribio-Barrueto, and C. Castro-Vargas, "IoT System with ESP32 for Smart Drip Irrigation and Climate Monitoring in Greenhouses," *Emerging Science Journal*, vol. 9, no. 3, pp. 1133-1157, 2025, doi: 10.28991/ESJ-2025-09-03-01.
- [9] M. L. Q. Galon, M. V. R. Tumaliwan, and M. M. Sejera, "Automated Monitoring and Control System of Solar Greenhouse Using ESP32 and Blynk Application," *Engineering Proceedings*, vol. 92, no. 1, Art. no. 57, 2025, doi: 10.3390/engproc2025092057.
- [10] M. Zikri, M. Fikry, and R. Suwanda, "Rancang Bangun Smart Greenhouse Otomatis Berbasis Internet of Things dengan Kontrol Rule-Based untuk Optimalisasi Pertumbuhan Tanaman Tomat," *Rabit: Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi Univrab*, vol. 10, no. 2, pp. 693-700, Jul. 2025, doi: 10.36341/rabit.v10i2.6435.
- [11] M. T. Jufri, F. A. Fauzia, A. A. Nurwaida, A. N. Ilhami, and R. Nugraha, "Sistem Monitoring Smart Greenhouse Berbasis IoT pada Budidaya Bawang Merah," *Jurnal Nasional Teknologi Komputer*, vol. 5, no. 2, pp. 01-06, 2025, doi: 10.61306/jnastek.v5i1.169.
- [12] M. B. F. Yaqin, B. S. Rintyarna, and H. Setyawan, "Rancang Bangun Prototipe Smart Greenhouse Berbasis IoT Untuk Mengontrol Pertumbuhan Tanaman Bawang Merah (*Allium Ascalonicum L.*)," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)*, vol. 6, no. 1, pp. 112-124, Mar. 2024, doi: 10.32528/elkom.v6i1.20697.
- [13] M. Muthmainnah, N. Chamidah, and K. Kusairi, "Monitoring Soil Temperature and Humidity in an IoT-Based Green House to Improve Plant Management," *Engineering: Journal of Mechatronics and Education*, vol. 1, no. 2, pp. 36-44, Jul. 2024, doi: 10.59923/mechatronics.v1i2.129.
- [14] C. Huda, B. Etikasari, and P. S. D. Puspitasari, "A Smart Greenhouse Production System Utilizes an IoT Technology," *JUITA: Jurnal Informatika*, vol. 11, no. 1, pp. 117-124, May 2023, doi: 10.30595/juita.v11i1.16191.
- [15] J. D. Ticoh, J. A. Kaengke, and R. Ridwan, "Design of a Greenhouse System for Vegetable Plants Based on the Internet of Things," *Jurnal Sistem Cerdas*, vol. 8, no. 1, pp. 55-65, Apr. 2025, doi: 10.37396/jsc.v8i1.501.
- [16] A. C. H. Austria, J. S. Fabros, K. R. G. Sumilang, J. Bernardino, and A. C. Doctor, "Development of IoT Smart Greenhouse System for Hydroponic Gardens," *International Journal of Computing Sciences Research*, vol. 7, pp. 2111-2136, 2023, doi: 10.25147/ijcsr.2017.001.1.149.
- [17] S. Chen, A. Liu, F. Tang, P. Hou, Y. Lu, and P. Yuan, "A Review of Environmental Control Strategies and Models for Modern Agricultural Greenhouses," *Sensors*, vol. 25, no. 5, Art. no. 1388, 2025, doi: 10.3390/s25051388.
- [18] D.-I. Săcăleanu, M.-G. Matache, Ș.-G. Roșu, B.-C. Florea, I.-P. Manciu, and L.-A. Perișoară, "IoT-Enhanced Decision Support System for Real-Time Greenhouse Microclimate Monitoring and Control," *Technologies*, vol. 12, no. 11, Art. no. 230, 2024, doi: 10.3390/technologies12110230.
- [19] J. N. Simorangkir, E. D. Suryanto, and D. P. Saragi, "Perancangan Miniatur Smart Greenhouse untuk Sistem Penyiraman dan Monitoring Tanaman Secara Otomatis," *Journal Sains Student Research*, vol. 4, no. 2, pp. 346-354, Apr. 2026, doi: 10.61722/jssr.v4i2.9495.
- [20] Z. Avista, M. A. Rizkiawan, and Y. Witanto, "Smart hydroponic greenhouse with solar energy for urban agriculture," *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, vol. 24, no. 2, pp. 727-736, Apr. 2026, doi: 10.12928/telkomnika.v24i2.276.