

RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI DAN MONITORING TANAMAN CABAI PADA GREENHOUSE BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)

Handrian Yudha Purnama; Agus Supardi S.T., M.T.

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Cabai (*Capsicum Annum L*) merupakan tanaman yang sangat diminati di Indonesia berkat nilai ekonomisnya yang tinggi. Cabai memerlukan kondisi optimal untuk pertumbuhannya. Suhu yang konstan antara 24°C hingga 28°C, kelembapan udara sekitar $\pm 80\%$ Rh, dan kelembaban tanah di kisaran 50% hingga 70% menjadi faktor penting. Penelitian ini memanfaatkan konsep *smart farming* yang mengawasi kelembaban tanah, kelembaban udara, dan suhu, serta mengendalikan perangkat seperti pompa air penyiraman, pompa air kelembaban, dan kipas angin secara otomatis. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 terintegrasi dengan WiFi, dan aplikasi Android yang dikembangkan dengan Blynk. Metode penelitian yang diterapkan adalah kuantitatif dengan fokus pada pengamatan dan pengumpulan data nilai kelembaban tanah, suhu, dan kelembaban udara. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mampu mengelola kondisi tumbuh dengan sangat baik, dengan perbedaan nilai suhu rata-rata hanya 0,16°C dan perbedaan nilai kelembaban sekitar 6,29% dengan rata-rata error 9,32%. Selama periode uji coba tiga hari, perangkat berhasil mengendalikan kondisi pertumbuhan tanaman cabai sesuai harapan dan menampilkan hasil pembacaan sensor secara akurat melalui aplikasi Blynk.

Kata Kunci: aplikasi Android Blynk, cabai, mikrokontroler ESP32, *smart farming*.

Abstract

Chili (*Capsicum Annum L*) is a highly desirable crop in Indonesia due to its high economic value. Chili requires optimal conditions for growth. A constant temperature between 24°C to 28°C, air humidity around $\pm 80\%$ Rh, and soil moisture in the range of 50% to 70% are important factors. This research utilizes the concept of smart farming that monitors soil moisture, air humidity, and temperature, and controls devices such as watering water pumps, humidity water pumps, and fans automatically. The system uses an ESP32 microcontroller integrated with WiFi, and an Android application developed with Blynk. The research method applied is quantitative with a focus on observation and data collection of soil moisture, temperature, and air humidity values. The test results show that the system is able to manage growing conditions very well, with an average temperature value difference of only 0.16°C and a humidity value difference of about 6.29% with an average error of 9.32%. During the three-day trial period, the device successfully controlled the growth conditions of the chili plants as expected and displayed the sensor readings accurately through the Blynk application.

Keywords: Blynk Android app, chili, ESP32 microcontroller, *smart farming*.

1. PENDAHULUAN

Cabai (*Capsicum Annum L*) merupakan tanaman semusim yang umumnya ditanam di seluruh wilayah Indonesia karena memiliki nilai ekonomis yang tinggi. Buah cabai tidak hanya dijadikan sebagai bahan

kuliner, tetapi juga dimanfaatkan dalam industri, obat-obatan, dan sebagai pewarna. Permintaan pasar terhadap cabai terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun seiring dengan meningkatnya penggunaan cabai. Di Indonesia, tanaman cabai dapat tumbuh di berbagai jenis lahan, termasuk sawah, lahan basah, pesisir pantai, *greenhouse*, hingga daerah pegunungan. Meski demikian, produksi cabai cenderung meningkat secara bertahap dan tidak mampu menyesuaikan diri dengan laju pertumbuhan permintaan pasar yang cepat (Firdhausi, 2018). Salah satu metode budidaya tanaman cabai melibatkan pemanfaatan *greenhouse* sebagai area tertutup yang dapat disesuaikan oleh petani untuk menciptakan iklim yang sesuai dengan kebutuhan tanaman. Salah satu kebun *greenhouse* yang menanam cabai terletak di Desa Makamhaji, Kecamatan Kartasura, Kabupaten Sukoharjo, Tepatnya di area Pondok Pesantren Al-Muayyad Windan. Saat ini, para petani masih mengadopsi pendekatan manual dalam melaksanakan kegiatan seperti penyiraman dan pengaturan sirkulasi udara untuk menemukan keseimbangan suhu dan kelembapan yang dibutuhkan oleh tanaman cabai.

Menurut Ronald (2022) beberapa parameter berikut seperti nilai suhu, nilai kelembapan udara dan nilai kelembapan tanah dapat mempengaruhi pertumbuhan dalam budidaya tanaman cabai. Agar tumbuh secara optimal, tanaman cabai memerlukan suhu yang konsisten, dengan idealnya berkisar antara 24°C hingga 28°C, sementara tingkat kelembapan yang diinginkan berada pada sekitar $\pm 80\%$ Rh (Maharani dkk., 2018). Pertumbuhan cabai juga membutuhkan tingkat kelembapan tanah yang sesuai. Tanaman cabai memerlukan tingkat kelembapan tanah dalam kisaran 50% hingga 70%. Ketersediaan air yang cukup penting bagi tanaman cabai, namun jika pemberian air terlalu tinggi di daerah akar, hal ini dapat merangsang perkembangan penyakit jamur dan bakteri yang mengakibatkan kematian bagi tanaman. Sebaliknya, kekurangan air dapat menyebabkan tanaman cabai menjadi kering, layu, dan akhirnya mati (Ronald, 2022). Menurut Harir (2019), tingkat kelembapan tanah yang optimal untuk pertumbuhan tanaman cabai adalah antara 66% hingga 80%. Jika kelembapan tanah rendah, pertumbuhan tanaman cabai tidak akan mencapai potensi maksimal, menyebabkan kekerdilan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, peneliti memiliki ide untuk membuat sebuah sistem kontrol yang dapat mengatur dan memantau kebun dari parameter lingkungan yang ada seperti nilai suhu, nilai kelembapan udara dan kelembapan tanah guna membantu petani. Hal ini bertujuan untuk memudahkan perawatan dan mengoptimalkan proses pertumbuhan tanaman cabai. Saat ini, terdapat beragam teknologi yang mendukung aktivitas berkebun di lahan kebun sendiri. *Greenhouse* adalah salah satu metode dari pertanian yang tergolong modern dimana menggunakan konstruksi kaca atau bahan transparan sebagai penutupnya (Ristian dkk., 2022). Pada lahan *greenhouse* konvensional proses pertanian juga masih menggunakan metode manual dengan pengawasan tanaman secara langsung contohnya untuk penyiraman harus datang langsung dan mengaktifkan pompa secara manual

untuk melakukan penyiraman. *Internet of Things* (IoT) merupakan suatu teknologi yang relatif mudah dikembangkan oleh masyarakat (Kurniawan dkk., 2021). IoT berfungsi sebagai perantara yang memungkinkan pemantauan kondisi suatu objek secara efisien. Dengan sistem terintegrasi, teknologi ini mampu memberikan dorongan kepada pemilik tanaman dalam mengawasi serta mengatur kondisi pertumbuhan tanaman. Hal ini akan mengubah pekerjaan yang sebelumnya dilakukan secara manual menjadi otomatis, lebih mudah, dan praktis (Lubis, 2020).

Dalam penelitian ini, akan menerapkan konsep teknologi pertanian cerdas atau *smart farming* yang melibatkan pemantauan kelembapan tanah, kelembapan udara, dan suhu, serta pengendalian perangkat seperti pompa air penyiraman, pompa air kelembapan dan *exhaust fan* secara otomatis. Dengan menerapkan sistem pertanian cerdas, manusia dapat menghasilkan tanaman cabai secara lebih efisien. Dalam konteks pertanian cerdas, perawatan tanaman dapat dilakukan secara otomatis, mengurangi keterlibatan manusia secara langsung. Selain itu, pemantauan tanaman dapat dengan mudah dilakukan melalui kemampuan pemantauan menggunakan perangkat *smartphone Android*. Sistem mikrokontroler yang digunakan adalah *ESP32*, dipilih karena sudah terintegrasi dengan *module WI-FI* yang memadai dan terbukti efektif. Aplikasi *Android* dikembangkan menggunakan platform aplikasi *Blynk* sebagai antarmuka pengguna yang memungkinkan kontrol perangkat, seperti pompa air untuk penyiraman otomatis dan *exhaust fan* untuk menjaga suhu serta kelembapan dalam *greenhouse*.

2. METODE

Metode penelitian yang digunakan bersifat kuantitatif dengan fokus pada observasi objek dan pengumpulan data, termasuk nilai-nilai kelembapan tanah, suhu, dan kelembapan udara. Selain itu, penelitian juga mencakup perencanaan penggunaan pompa air, *sprayer*, dan *exhaust fan* sebagai solusi terhadap masalah yang muncul.

Dalam tahap pengujian peralatan, data yang terkumpul akan diolah dan dianalisis dengan menghitung nilai selisih, *error*, dan rata-rata. Perhitungan persentase kesalahan pengukuran dilakukan dengan membagi nilai selisih sensor dengan nilai alat pembanding, kemudian hasilnya dikalikan 100% (Setyawan dkk., 2022). Dari penelitian Puspasari (2020) dan Setyawan (2022), dapat diperoleh rumus-rumus berikut.

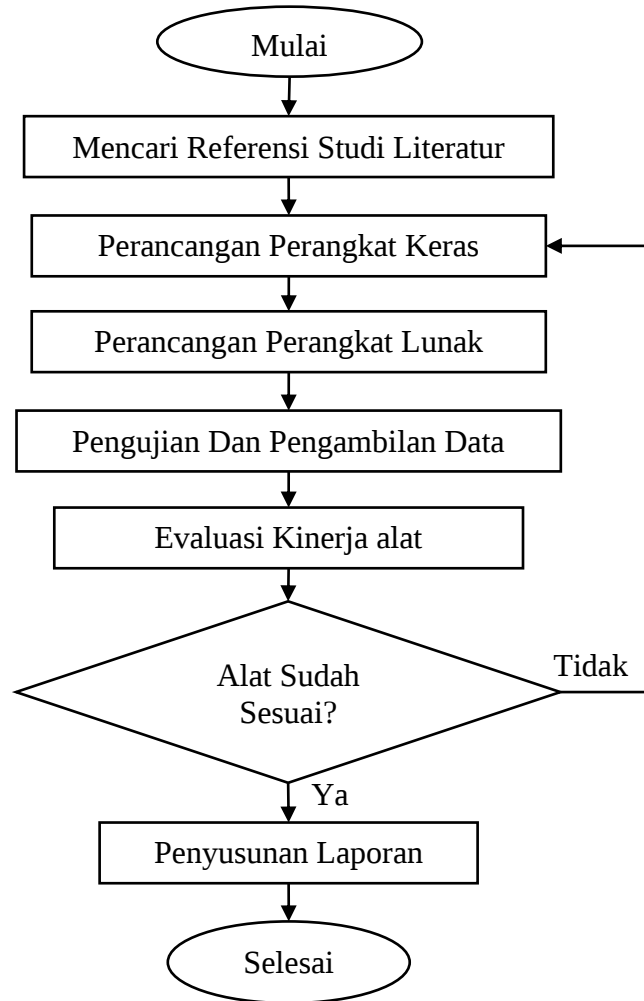
$$\text{Nilai selisih} = |\text{Nilai alat pembanding} - \text{nilai sensor}| \quad (1)$$

$$\text{Error} = \frac{\text{Nilai selisih}}{\text{Nilai alat pembanding}} \times 100\% \quad (2)$$

$$Rata - rata = \frac{\text{total penjumlahan data nilai error}}{\text{banyaknya data}}$$

(3)

Dapat dilihat pada gambar 1 akan menunjukkan digram alir dari penelitian ini sebagai berikut.

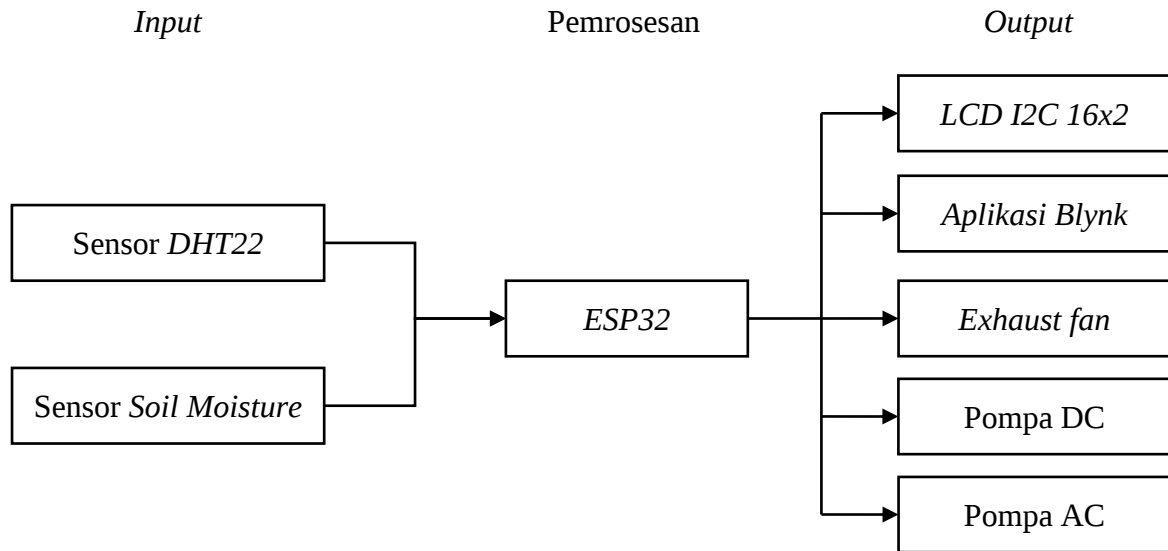


Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1 Perancangan Sistem Kerja Alat

Perancangan sistem kerja alat secara singkat dapat dilihat pada gambar 2 diagram alir dari sistem kerja alat yang terdiri dari *input*, pemrosesan, dan *output*. Bagian penting dalam merancang sistem kerja dari alat ini adalah membuat alat dapat membaca nilai suhu, kelembapan udara dan kelembapan tanah melalui sensor-sensor yang digunakan seperti sensor *DHT22* dan sensor *soil moisture*. Data yang masuk dari sensor-sensor akan diproses oleh *ESP32* yang bekerja sebagai mikrokontroler, kemudian data yang telah diproses akan ditampilkan hasilnya melalui layar *LCD I2C 16x2* dan data juga dapat dilihat pada perangkat *android* melalui aplikasi *Blynk*. Pada bagian *input* data sensor sampai pemrosesan data dari sensor-sensor harus dilakukan dengan baik dan menggunakan metode uji coba

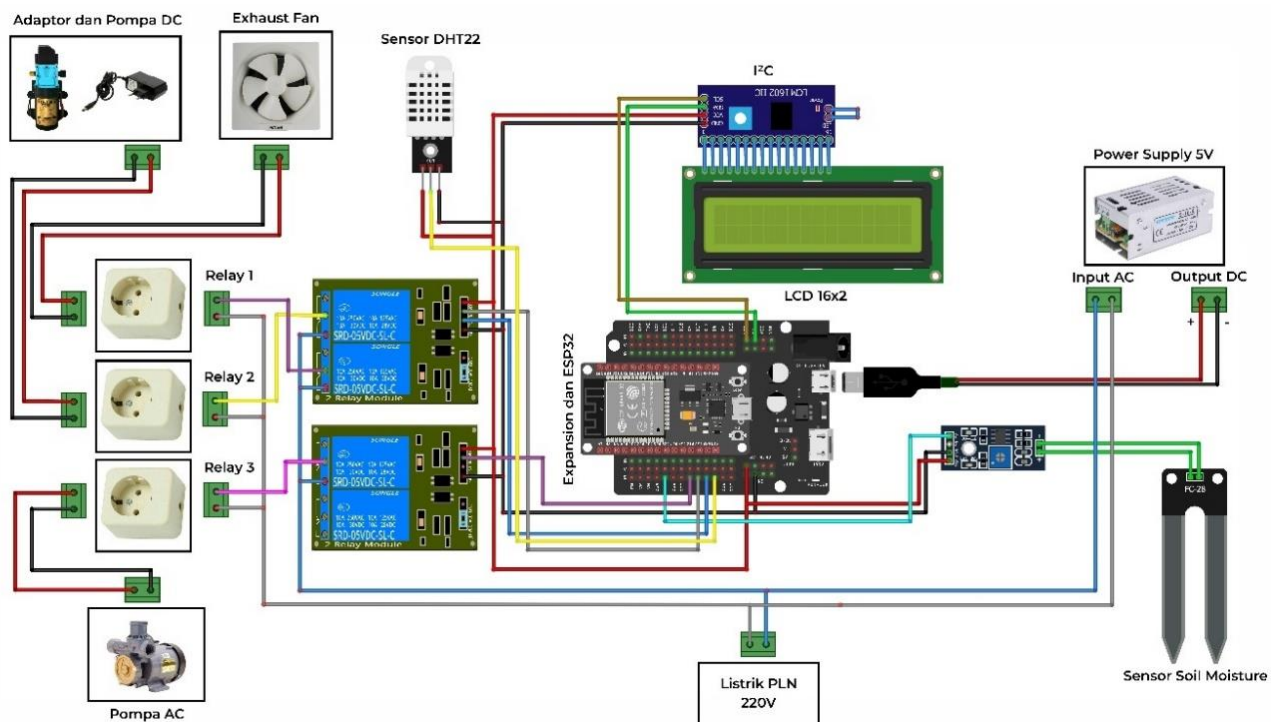
pada setiap pemrosesan datanya. Jika pengujian belum sesuai dengan target maka harus mengulangi tahapannya.



Gambar 2. Alur perancangan sistem kerja alat

2.2 Perancangan Perangkat Keras

Pada perancangan perangkat keras, peneliti mengembangkan struktur kerja sistem, yang dapat dilihat secara rinci melalui desain ilustrasi yang dijelaskan dalam Gambar 3. Pada tabel 1 menunjukkan pin-pin yang digunakan mikrokontroler dalam membuat sistem kerja pada *greenhouse*.



Gambar 3. Wiring diagram

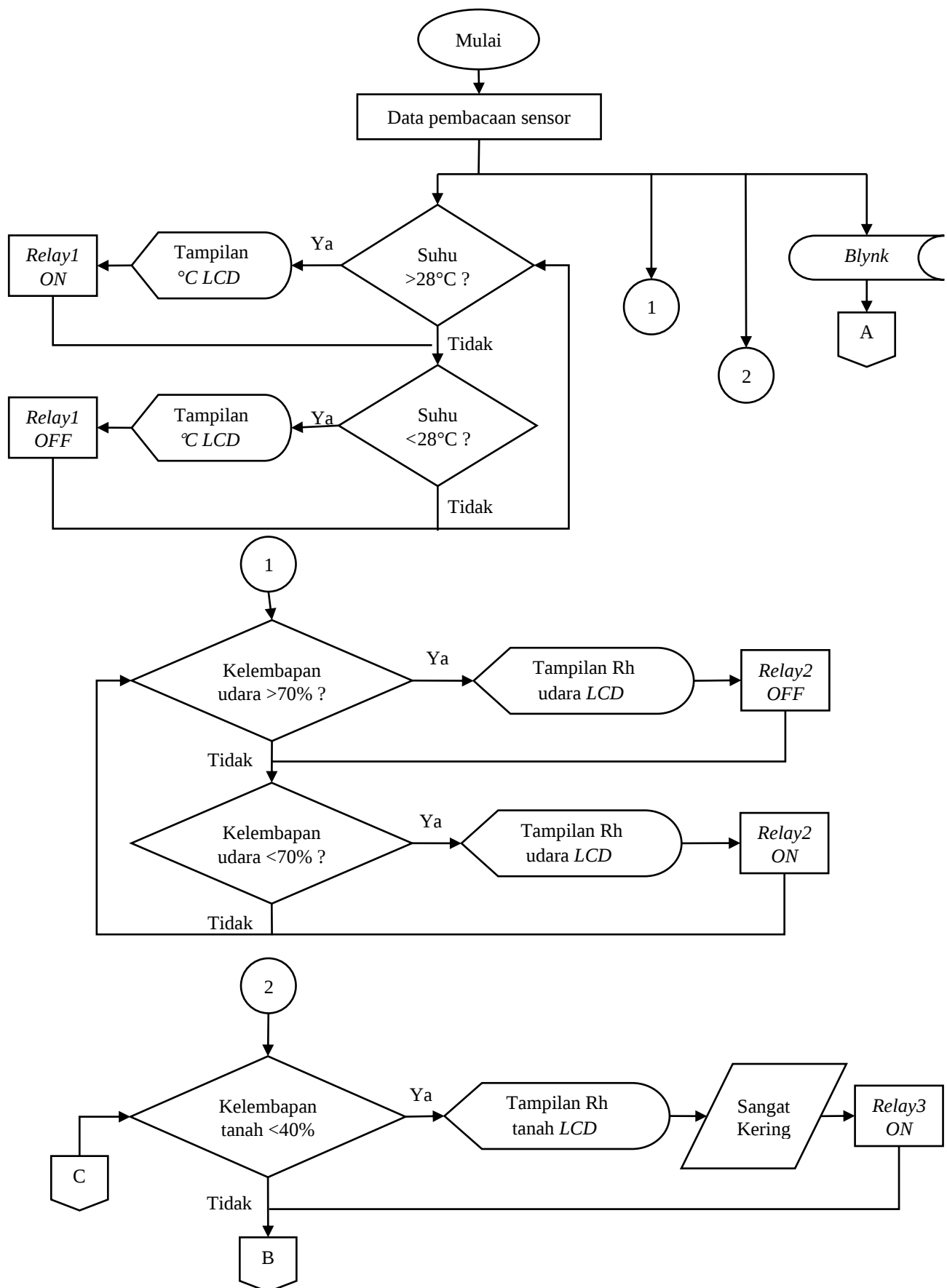
Tabel 1. Konfigurasi pin pada *ESP32*

Pin <i>ESP32</i>	Koneksi	Fungsi
GPIO 14	<i>In DHT22</i>	Menerima data dari sensor <i>DHT22</i>
GPIO 25	<i>Relay 3</i>	Menyala/Mematikan pompa AC
GPIO 26	<i>Relay 2</i>	Menyala/Mematikan pompa DC
GPIO 27	<i>Relay 1</i>	Menyala/Mematikan <i>exhaust fan</i>
GPIO 35	<i>In sensor soil moisture</i>	Menerima data dari sensor <i>soil moisture</i>
Pin 5V	<i>Input sumber DC (+)</i>	<i>Input sumber tegangan DC positif (+)</i>
Pin GND	<i>Input sumber DC (-)</i>	<i>Input sumber tegangan DC negatif (-)</i>

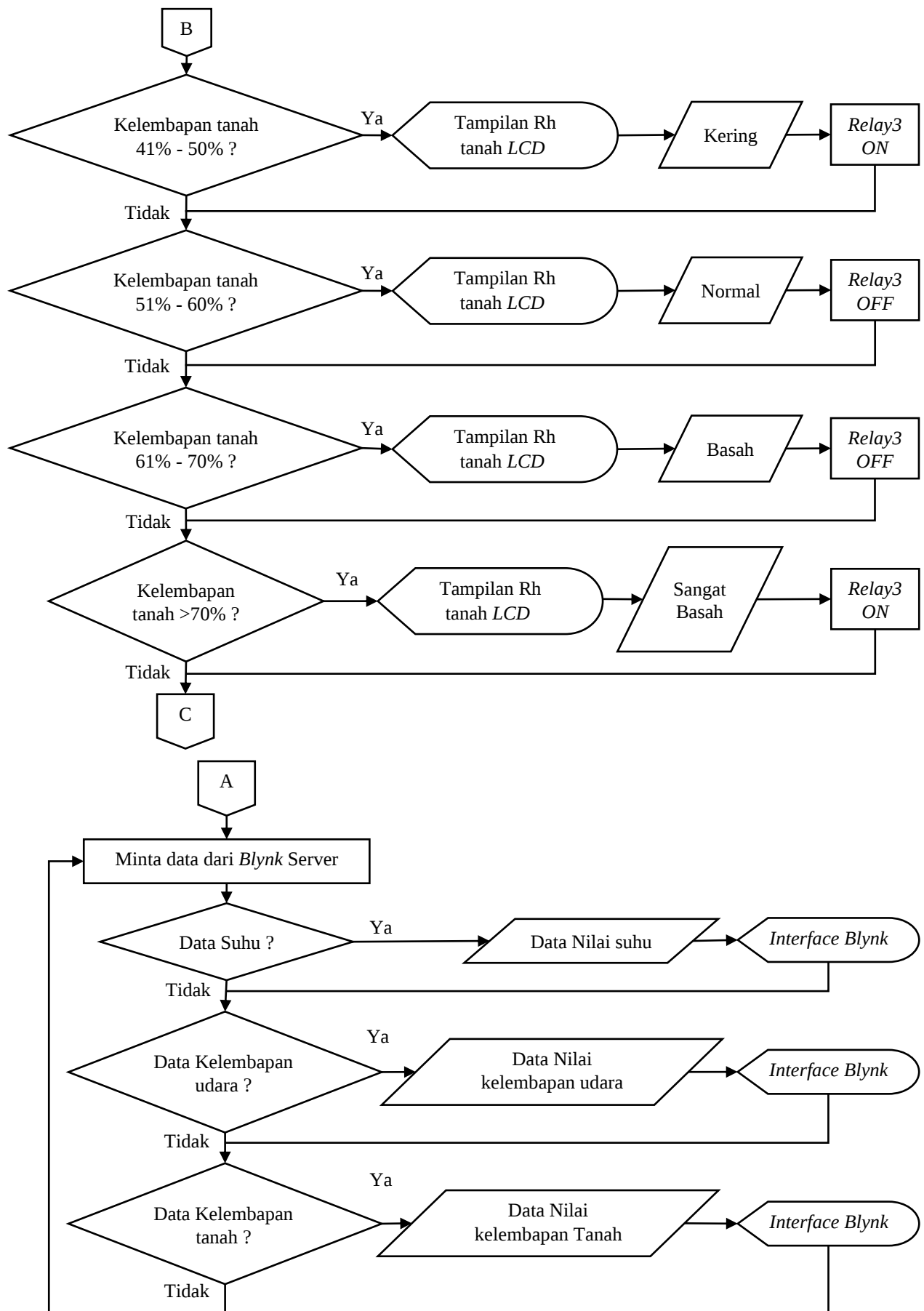
Gambar 3 menampilkan mikrokontroler *ESP32* yang diintegrasikan dengan sensor-sensor, yakni *DHT22* dan *Soil Moisture*. *DHT22* berfungsi sebagai sensor suhu dan kelembapan udara, sementara *Soil Moisture* berperan sebagai sensor kelembapan tanah dengan cara menanamkan probe ke dalam tanah. *Output* dari sistem ini mencakup beberapa aktuator seperti *exhaust fan*, pompa DC, dan pompa AC. *Exhaust fan* bertugas untuk menurunkan suhu udara di dalam *greenhouse*, sementara pompa DC digunakan untuk meningkatkan kelembapan udara. Kedua perangkat ini beroperasi berdasarkan parameter suhu dan kelembapan udara yang dideteksi oleh sensor *DHT22*. Pompa AC bertujuan untuk mengalirkan air ke dalam pot *polybag* tanaman, sesuai input data parameter yang dibaca oleh sensor *Soil Moisture*. Untuk mensuplai daya kepada *exhaust fan*, pompa DC, dan pompa AC, digunakan sumber tegangan VAC sebesar 220V, yang diambil langsung dari PLN. Adaptor juga digunakan sebagai alat tambahan untuk menghidupkan pompa DC yang terhubung dengan tegangan AC.

2.3 Perancangan Perangkat Lunak

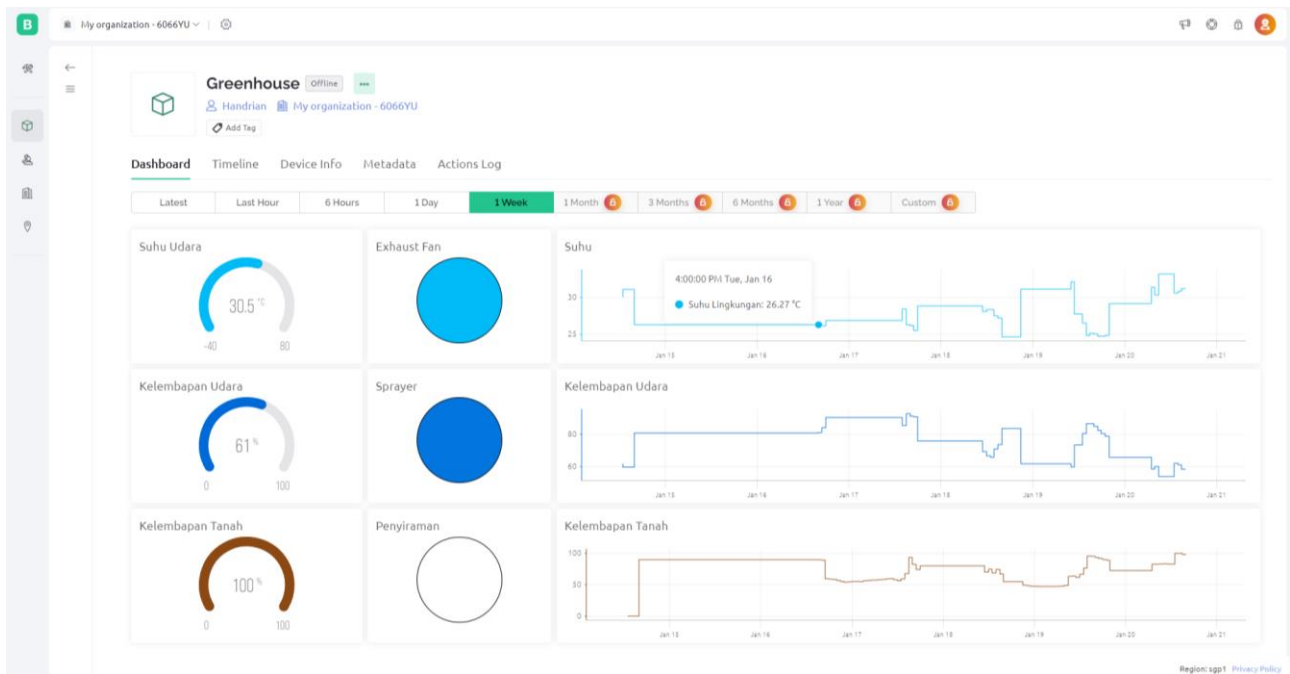
Pada perancangan perangkat lunak, peneliti mengembangkan program untuk *ESP32*, *server Blynk*, dan antarmuka *Android*. Untuk *ESP32*, peneliti memilih aplikasi *Arduino IDE*, yang merupakan platform umum dalam dunia pemrograman. Sebagai basis data, peneliti memanfaatkan *Blynk* yang dapat diakses melalui web atau perangkat *Android*. Penggunaan aplikasi *Blynk* pada *database* dan antarmuka *Android* dianggap oleh peneliti sebagai pilihan yang cukup baik, *user-friendly*, dan gratis. Berikut gambar 4 dan gambar 5 menunjukkan diagram alir dari program yang akan dibuat. Gambar 6 dan gambar 7 menunjukkan hasil perancangan sistem antarmuka menggunakan aplikasi *Blynk*.



Gambar 4. Diagram alir *program*



Gambar 5. Diagram alir program



Gambar 6. Tampilan antarmuka aplikasi *Blynk Android*



Gambar 7. Tampilan antarmuka *Blynk web*

2.4 Tampilan Alat



Gambar 8. Prototipe alat

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian prototipe dilaksanakan untuk mengevaluasi sejauh mana kesesuaian sistem kontrol pada prototipe dengan kebutuhan yang diinginkan. Pengujian ini terdiri dari tiga tahap utama. Tahap pertama melibatkan pengujian sensor *DHT22* dan *soil moisture* dalam mendeteksi kondisi lingkungan sekitar. Proses pendeteksian berlangsung selama 3 jam dengan pengambilan sampel data setiap interval 15 menit. Data hasil pengukuran sensor kemudian diolah dan dibandingkan dengan alat pembanding, yaitu *thermohygrometer HTC-2* dan *Soil pH Analyzer*, untuk menilai tingkat kesalahan pengukuran. Tahap kedua melibatkan pengujian manual untuk memastikan bahwa sistem dapat mengoperasikan aktuator sesuai dengan kondisi lingkungan yang terdeteksi oleh sensor. Proses ini melibatkan rekayasa parameter suhu, kelembapan udara, dan kelembapan tanah dengan menggunakan pengering rambut sebagai pemanas dan kipas sebagai pendingin untuk merekayasa suhu. Pengering rambut digunakan untuk mengatur kelembapan udara, sedangkan penyemprot air digunakan untuk menambah kelembapan sekitar sensor. Demikian juga, untuk merekayasa kelembapan tanah, contoh media tanah diberikan air secara bertahap. Pada tahap ketiga, dilakukan pengujian sistem secara langsung di dalam *greenhouse* tanaman cabai selama 3 hari.

3.1 Pengambilan data sensor *DHT22*

Tujuan dari pengujian pada sensor *DHT22* adalah untuk mengevaluasi kemampuan sensor dalam mengukur nilai suhu dan kelembapan di dalam suatu ruangan. Pengujian dilakukan secara bersamaan dengan alat pembanding. *Thermohygrometer HTC-2*, yang berfungsi sebagai alat ukur untuk membandingkan nilai suhu dan kelembapan dengan hasil yang diberikan oleh sensor *DHT22*. Hal ini

bertujuan untuk mengidentifikasi selisih perbedaan antara prototipe dengan alat pembanding. Data hasil pembacaan suhu sensor *DHT22* dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian suhu pada sensor *DHT22*

Jam	Suhu (°C)		Tampilan <i>Blynk</i> (°C)	Nilai Selisih (°C)	Nilai Errorr (%)
	Sensor <i>DHT22</i>	<i>Thermohygrometer</i> <i>HTC-2</i>			
14.45	30,4	30,7	30,4	0,3	0,98
15.00	30,7	30,7	30,7	0	0
15.15	31,1	31	31,1	0,1	0,32
15.30	31,3	31,3	31,3	0	0
15.45	31,2	31	31,2	0,2	0,65
16.00	31,1	31,2	31,1	0,1	0,32
16.15	31,2	31,3	31,2	0,1	0,32
16.30	30,4	30,6	30,4	0,2	0,65
16.45	30,2	30,4	30,2	0,2	0,66
17.00	30	30,2	30	0,2	0,66
17.15	29,8	30,1	29,8	0,3	1
17.30	29,7	29,9	29,7	0,2	0,67
17.45	29,6	29,8	29,6	0,2	0,67
Rata-rata				0,16	0,53

Tabel 2 menampilkan hasil pengujian terhadap nilai suhu yang diambil sebanyak tiga belas kali pada rentang waktu pukul 14.45 hingga 17.45 WIB. Data tersebut mencakup nilai selisih perbedaan dan tingkat kesalahan yang diperoleh, dengan tujuan untuk menghitung persentase kesalahan. Perhitungan persentase kesalahan dilakukan dengan membagi nilai selisih antara hasil pengukuran dengan nilai alat pembanding pada masing-masing waktu pengambilan data, kemudian hasilnya dikalikan 100%. Sebagai contoh, perhitungan kesalahan pada sampel pukul 14.45 WIB dapat dijabarkan sebagai berikut.

- Nilai error suhu

$$\begin{aligned}
 \text{Error suhu} &= \frac{\text{Nilai selisih}}{\text{Nilai alat pembanding}} \times 100\% \\
 &= \frac{0,3}{30,7} \times 100\% \\
 &= 0,98\%
 \end{aligned}$$

Jadi, hasil nilai kesalahan yang di dapat pada sampel pukul 14.45 adalah sebesar 0,98%. Untuk mendapatkan hasil rata-rata nilai seisi suhu menggunakan perhitungan sebagai berikut.

- Nilai rata-rata nilai selisih suhu

$$\begin{aligned} \text{Rata - rata selisih suhu} &= \frac{\text{total penjumlahan data nilai selisih suhu}}{\text{banyaknya data}} \\ &= \frac{0,3+0+0,1+0+0,2+0,1+0,1+0,2+0,2+0,2+0,3+0,2+0,2}{13} \\ &= 0,16 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Jadi, hasil nilai rata-rata nilai selisih suhu adalah sebesar 0,16 °C. Untuk mendapatkan hasil rata-rata nilai seisi suhu menggunakan perhitungan sebagai berikut.

- Nilai rata-rata nilai *error* suhu

$$\begin{aligned} \text{Rata - rata error suhu} &= \frac{\text{total penjumlahan data nilai error suhu}}{\text{banyaknya data}} \\ &= \frac{0,98+0+0,32+0+0,65+0,32+0,32+0,65+0,66+0,66+1+0,67+0,67}{13} \\ &= 0,53\% \end{aligned}$$

Jadi, hasil nilai rata-rata nilai selisih suhu adalah sebesar 0,53%. Data hasil pembacaan kelembapan udara sensor *DHT22* dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian kelembapan udara pada sensor *DHT22*

Jam	Kelembapan (Rh%)		Tampilan <i>Blynk</i> (%)	Nilai Selisih (%)	Nilai <i>Errorr</i> (%)
	Sensor <i>DHT22</i>	<i>Thermohyrometer</i> <i>HTC-2</i>			
14.45	62,7	68	62,7	5,3	7,79
15.00	62	69	62	7	10,14
15.15	60,5	68	60,5	7,5	11,03
15.30	59,2	68	59,2	8,8	12,94
15.45	60	68	60	8	11,76
16.00	58,4	67	58,4	8,6	12,84
16.15	57,5	64	57,5	6,5	10,16
16.30	61	67	61	6	8,96
16.45	61,2	66	61,2	4,8	7,27
17.00	62,5	67	62,5	4,5	6,72
17.15	62,9	68	62,9	5,1	7,5

17.30	64	69	64	5	7,25
17.45	64,3	69	64,3	4,7	6,81
Rata-rata				6,29	9,32

Tabel 3 menampilkan hasil pengujian terhadap nilai kelembapan yang diambil sebanyak tiga belas kali pada rentang waktu pukul 14.45 hingga 17.45 WIB. Data tersebut mencakup nilai selisih perbedaan dan tingkat kesalahan yang diperoleh, dengan tujuan untuk menghitung persentase kesalahan. Perhitungan persentase kesalahan dilakukan dengan membagi nilai selisih antara hasil pengukuran dengan nilai alat pembanding pada masing-masing waktu pengambilan data, kemudian hasilnya dikalikan 100%. Sebagai contoh, perhitungan kesalahan pada sampel pukul 14.45 WIB dapat dijabarkan sebagai berikut.

- Nilai *error* kelembapan

$$\begin{aligned}
 \text{Error kelembapan} &= \frac{\text{Nilai selisih}}{\text{Nilai alat pembanding}} \times 100\% \\
 &= \frac{5,3}{68} \times 100\% \\
 &= 7,79\%
 \end{aligned}$$

Jadi, hasil nilai kesalahan yang di dapat pada sampel pukul 14.45 adalah sebesar 7,79%. Untuk mendapatkan hasil rata-rata nilai selisih kelembapan menggunakan perhitungan sebagai berikut.

- Nilai rata-rata nilai selisih kelembapan

$$\begin{aligned}
 \text{Rata – rata selisih kelembapan} &= \frac{\text{total penjumlahan data nilai selisih kelembapan}}{\text{banyaknya data}} \\
 &= \frac{5,3+7+7,5+8,8+8+8,6+6,5+6+4,8+4,5+5,1+5+4,7}{13} \\
 &= 6,29\%
 \end{aligned}$$

Jadi, hasil nilai rata-rata nilai selisih kelembapan adalah sebesar 6,29%. Untuk mendapatkan hasil rata-rata nilai seisih kelembapan menggunakan perhitungan sebagai berikut.

- Nilai rata-rata nilai *error* kelembapan

$$\begin{aligned}
 \text{Rata – rata error kelembapan} &= \frac{\text{total penjumlahan data nilai error kelembapan}}{\text{banyaknya data}} \\
 &= \frac{7,79+10,14+11,03+12,94+11,76+12,84+10,16+8,96+7,27+6,72+7,5+7,25+6,81}{13} \\
 &= 9,32\%
 \end{aligned}$$

Jadi, hasil nilai rata-rata nilai selisih kelembapan adalah sebesar 9,32%. Pada gambar 7 terlihat proses pengambilan data nilai suhu dan kelembapan udara.



Gambar 9. Pengambilan sampel suhu dan kelembapan

3.2 Pengambilan data sensor *Soil Moisture*

Tujuan dari pengujian pada sensor *Soil Moisture* adalah untuk mengevaluasi kemampuan sensor dalam mengukur nilai kelembapan tanah. Pengujian ini dilakukan secara bersamaan dengan menggunakan alat pembanding, yaitu *Soil pH Analyzer*. Alat ini berfungsi sebagai perangkat ukur untuk membandingkan nilai kelembapan tanah dengan hasil yang diperoleh dari sensor *soil moisture*. Penting untuk dicatat bahwa pada *Soil pH Analyzer* belum terdapat parameter nilai dalam pengukuran kelembapan tanahnya. Sebagai gantinya, alat ini hanya melakukan klasifikasi kelembapan tanah dalam kategori seperti *DRY+*, *DRY*, *NOR*, *WET*, dan *WET+*. Tujuan dari penggunaan alat pembanding ini adalah untuk mengidentifikasi perbedaan antara prototipe dan alat pembanding. Data hasil pembacaan suhu dari sensor *soil moisture* dapat ditemukan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian kelembapan tanah pada sensor soil moisture

Jam	Kelembapan Tanah			Tampilan Blynk (Rh%)
	Sensor Soil Moisture (Rh%)	Klasifikasi Sensor Soil Moisture	Klasifikasi Soil pH Analyzer	
14.45	100	Sangat Basah	WET+	100
15.00	100	Sangat Basah	WET+	100
15.15	100	Sangat Basah	WET+	100
15.30	100	Sangat Basah	WET+	100
15.45	100	Sangat Basah	WET+	100

16.00	100	Sangat Basah	WET+	100
16.15	100	Sangat Basah	WET+	100
16.30	97	Sangat Basah	WET+	97
16.45	94	Sangat Basah	WET+	94
17.00	94	Sangat Basah	WET+	94
17.15	91	Sangat Basah	WET+	91
17.30	91	Sangat Basah	WET+	91
17.45	91	Sangat Basah	WET+	91

Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian nilai kelembapan tanah yang diambil dalam tiga belas kali sesi pengambilan data antara pukul 14.45 hingga 17.45 WIB. Pembacaan sensor soil moisture dilakukan secara bertahap karena tingkat kelembapan tanah membutuhkan waktu yang lama untuk turun dan relatif stabil. Salah satu faktor yang memengaruhi stabilitas kondisi tanah adalah keadaan lingkungan sekitar. Pada gambar 8 terlihat proses pengambilan data nilai kelembapan tanah.



Gambar 10. Pengambilan sampel kelembapan tanah

3.3 Pengujian manual kondisi alat

Pengujian manual dilakukan dengan tujuan menguji kesesuaian alat terhadap program kontrol otomatis yang telah dibuat untuk mengatur suhu, kelembapan udara, dan kelembapan tanah. Pengujian awal melibatkan pengering rambut sebagai pemanas dan kipas sebagai pendingin untuk mengendalikan suhu. Penggunaan pengering rambut diarahkan untuk mengatur tingkat kelembapan udara, sementara penyemprot air digunakan untuk menambah kelembapan di sekitar sensor. Untuk menguji kontrol kelembapan tanah, pengujian dilakukan dengan menggunakan media tanam dan memberikan air secara bertahap. Gambar 9 hingga gambar 11 menampilkan proses pengujian secara manual dan pada tabel 5 hingga tabel 7 menampilkan hasil sampel pengujian manual.



Gambar 11. Pengujian dengan
hairdryer



Gambar 12. Pengujian dengan
penyemprot air



Gambar 13. Pengujian dengan
tanah basah

Tabel 5. Pengujian manual suhu pada sensor *DHT22*

Pecobaan	Suhu (°C)		<i>Exhaust fan</i>	
	Suhu awal	Suhu akhir	Kondisi awal	Kondisi akhir
1	26,30	28,6	Mati	Hidup
2	31,2	27,0	Hidup	Mati

Tabel 5 memperlihatkan hasil pengujian nilai suhu, di mana jika suhu melebihi 28°C, mikrokontroler akan mendeteksi dan mengaktifkan *relay* 1 yang terkoneksi dengan *exhaust fan*. Sebaliknya, apabila suhu sudah turun di bawah 28°C, mikrokontroler akan mendeteksi dan menonaktifkan *relay* 1 untuk menyalakan *exhaust fan*.

Tabel 6. Pengujian manual kelembapan udara pada sensor *DHT22*

Pecobaan	Kelembapan udara (Rh%)		Pompa DC	
	Kelembapan awal	Kelembapan akhir	Kondisi awal	Kondisi akhir
1	68,70	70,50	Hidup	Mati
2	76,10	69,03	Mati	Hidup

Tabel 6 memperlihatkan hasil pengujian nilai kelembapan udara, di mana jika kelembapan melebihi 70%, mikrokontroler akan mendeteksi dan menonaktifkan *relay* 2 yang terkoneksi dengan pompa DC. Sebaliknya, apabila kelembapan sudah turun di bawah 70%, mikrokontroler akan mendeteksi dan mengaktifkan *relay* 2 dan menyalakan pompa DC.

Tabel 7. Pengujian manual kelembapan tanah pada sensor *Soil Moisture*

Pecobaan	Kelembapan Tanah (Rh%)		Pompa AC	
	Kelembapan awal	Kelembapan akhir	Kondisi awal	Kondisi akhir
1	58,00	42,00	Mati	Hidup
2	47,00	50,00	Hidup	Mati

Tabel 7 memperlihatkan hasil pengujian nilai kelembapan tanah, di mana jika kelembapan melebihi 50%, mikrokontroler akan mendeteksi dan menonaktifkan *relay* 3 yang terkoneksi dengan pompa AC. Sebaliknya, apabila kelembapan sudah turun di bawah 50%, mikrokontroler akan mendeteksi dan mengaktifkan *relay* 3 dan menyalakan pompa AC.

3.4 Pengujian prototipe pada tempat secara langsung

Pengujian alat dilaksanakan pada salah satu kebun *greenhouse* dengan tanaman cabai yang berada di Desa Makamhaji, Kecamatan Kartasura, Kabupaten Sukoharjo tepatnya pada Pondok Pesantren Al-Muayyad Windan. Data diambil selama 3 hari, yang termuat pada tabel dibawah ini.

- Pengujian hari pertama

Tabel 8. Hasil pengujian lapangan hari pertama

Jam	Suhu (°C)	Kelembapan udara (%)	Kelembapan tanah (%)	Blynk indikator LED		
				<i>Exhaust fan</i>	Pompa DC	Pompa AC
10.00	31,06	61,73	63,42	Hidup	Hidup	Mati
10.30	31,58	60,03	63,55	Hidup	Hidup	Mati
11.00	32,06	59,70	63,76	Hidup	Hidup	Mati
11.53	31,05	68,55	48,68	Hidup	Hidup	Hidup
13.00	27,71	73,38	66,71	Mati	Mati	Mati
13.30	28,03	77,56	59,86	Hidup	Mati	Mati
14.05	26,49	80,56	49,68	Mati	Mati	Hidup
14.20	26,89	80,11	60,00	Mati	Mati	Mati
14.53	26,89	83,21	47,79	Mati	Mati	Hidup
15.12	24,84	85,82	67,83	Mati	Mati	Mati

- Pengujian hari kedua

Tabel 8. Hasil pengujian lapangan hari kedua

Jam	Suhu (°C)	Kelembapan udara (%)	Kelembapan tanah (%)	<i>Blynk</i> indikator LED		
				<i>Exhaust fan</i>	Pompa DC	Pompa AC
11.00	28,65	77,83	82,75	Hidup	Mati	Mati
11.30	28,27	75,8	79,67	Hidup	Mati	Mati
12.00	30,17	66,52	68,53	Hidup	Hidup	Mati
12.38	28,68	69,79	49,23	Hidup	Hidup	Hidup
13.00	27,92	62,28	78,62	Mati	Hidup	Mati
13.30	28,25	67,53	74,38	Hidup	Hidup	Mati
14.00	28,68	64,57	71,79	Hidup	Hidup	Mati
14.43	28,51	64,67	49,52	Hidup	Hidup	Hidup
15.00	27,99	66,34	78,29	Mati	Hidup	Mati
15.30	27,87	71,27	75,58	Mati	Mati	Mati

- Pengujian hari ketiga

Tabel 9. Hasil pengujian lapangan hari ketiga

Jam	Suhu (°C)	Kelembapan udara (%)	Kelembapan tanah (%)	<i>Blynk</i> indikator LED		
				<i>Exhaust fan</i>	Pompa DC	Pompa AC
07.30	28,65	67,30	47,20	Hidup	Mati	Hidup
08.00	29,97	61,72	82,67	Hidup	Mati	Mati
08.30	30,04	60,06	82,83	Hidup	Mati	Mati
09.00	30,72	58,02	85,00	Hidup	Mati	Mati
16.30	25,10	86,61	96,00	Mati	Mati	Mati
17.00	25,03	87,64	93,54	Mati	Mati	Mati
17.30	25,01	84,80	93,29	Mati	Mati	Mati
18.00	24,72	83,41	91,99	Mati	Mati	Mati
18.28	24,7	82,51	91,56	Mati	Mati	Mati
19.00	24,71	81,88	90,15	Mati	Mati	Mati

Selama pengujian alat secara langsung di lokasi mitra greenhouse tanaman cabai, dilakukan pengambilan data selama tiga hari. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa alat berfungsi sesuai dengan fungsi yang telah diatur sebelumnya. Data yang diambil dari tabel 8 hingga tabel 10, dapat dilihat melalui grafik *chart widget* pada aplikasi *Blynk*. Pada sistem pengendalian suhu menggunakan *exhaust fan*, alat beroperasi dengan baik sesuai program yang telah dibuat, yaitu jika suhu ruangan melampaui 28°C, maka *exhaust fan* akan diaktifkan hingga suhu mencapai kondisi ideal. Sebaliknya, jika suhu turun di bawah 28°C, *exhaust fan* akan berhenti beroperasi. Sistem pengendalian kelembaban dengan menggunakan pompa DC juga berjalan dengan baik, di mana pompa DC akan menyala saat kelembaban berada di bawah 70% dan berhenti otomatis ketika kelembaban yang diinginkan tercapai atau melampaui 70%. Untuk sistem pengendalian kelembapan tanah menggunakan pompa AC, alat ini akan bekerja jika kelembapan tanah di bawah 50%, dan akan berhenti secara otomatis jika kelembapan tanah mencapai 50% atau lebih.

Pada pengujian dan pengambilan data dilakukan pada siang dan sore hari, pada hari pertama dimulai pada pukul 10.00 WIB, terlihat bahwa suhu cukup meningkat dibandingkan hari lainnya. Pada saat tersebut, *exhaust fan* sering menyala untuk menyeimbangkan suhu udara sementara kelembaban rata-rata berada di bawah 70%, sehingga pompa DC juga beberapa kali menyala. Kelembapan tanah tetap dalam kondisi baik karena pompa AC bekerja dengan baik ketika nilai kelembapan tanah berada dibawah 50% maka pompa AC akan menyala dan membasahi tanah. Pada hari kedua suhu lebih tinggi sehingga *exhaust fan* dan pompa DC sering beroperasi, karena kondisi cuaca mendung namun masih sedikit terik yang menyebabkan suhu dan kelembapan udara kadang melebihi nilai parameter yang diinginkan. Dapat dilihat pada tabel bahwa pada kedua, pompa AC menyala dua kali karena kelembapan tanah masih terjaga dengan baik. Selanjutnya, pada hari ketiga, data diambil dari pagi dan sore hari. Pada pagi hari, sekitar pukul 7.30 WIB, pompa AC menyala karena penyiraman biasanya dilakukan pada pagi dan siang hari, terutama ketika cuaca cerah, yang menyebabkan kondisi di dalam *greenhouse* menjadi lebih kering dan suhu meningkat, sesuai pada data hari ketiga. Pada sore hari, antara pukul 16.30 WIB hingga 19.00 WIB, suhu rata-rata berkisar antara 24°C hingga 25°C. *Exhaust fan* tidak aktif pada saat pengambilan data ini karena cuaca di luar *greenhouse* sedang hujan yang mengakibatkan suhu dan kelembapan udara pada *greenhouse* ikut meningkat. Karena kelembaban udara dan kelembapan tanah memiliki persentase yang cukup tinggi, maka pompa DC dan AC jarang menyala.



Gambar 14. Pengujian prototipe pada *greenhouse*



Gambar 15. Pengujian prototipe pada *greenhouse*

4. PENUTUP

Penelitian dan pembuatan prototipe skripsi berjudul "Rancang Bangun Sistem Kendali dan Monitoring Tanaman Cabai Pada *Greenhouse* Berbasis *Internet of Things (IoT)*" dapat berhasil diselesaikan sesuai dengan rencana dan tujuan awal pembuatan alat. Dari penelitian ini, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengujian yang menggunakan pembanding alat berupa *thermohygrometer HTC-2* dan dibandingkan dengan nilai yang ditampilkan oleh sensor *DHT22*, ditemukan bahwa terdapat selisih nilai rata-rata suhu sebesar $0,16^{\circ}\text{C}$ dengan rata-rata *error* sekitar $0,53\%$. Selain itu, data menunjukkan adanya selisih nilai rata-rata kelembaban sekitar $6,29\%$, dengan rata-rata *error* sebesar $9,32\%$. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa sensor *DHT22* yang digunakan telah sesuai atau mendekati pembacaan nilai suhu dan kelembaban yang diharapkan.
2. Dari pengujian sensor *soil moisture* dengan alat pembanding *Soil pH Analyzer*, diperoleh data klasifikasi yang baik, dengan nilai yang dapat digunakan untuk mengatur persentase dan klasifikasi kelembapan tanah. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa sensor *soil moisture* telah sesuai atau mendekati nilai kelembapan tanah yang diukur oleh alat pembanding.

3. Sistem pengendalian suhu, kelembaban udara, dan kelembapan tanah secara keseluruhan telah berfungsi dengan baik. Dalam pengujian manual menggunakan alat bantu seperti *hair dryer* untuk menaikkan suhu, *sprayer* untuk meningkatkan kelembaban, dan tanah yang dibasahi untuk meningkatkan kelembapan tanah, sistem ini telah teruji. Ketentuannya adalah, jika suhu melebihi 28°C, *exhaust fan* akan diaktifkan, dan akan dinonaktifkan ketika suhu turun di bawah 28°C. Pompa DC akan aktif jika kelembaban kurang dari 70% dan akan dimatikan ketika kelembaban mencapai lebih dari 70%. Selanjutnya, pompa AC akan dihidupkan jika kelembapan tanah berada di bawah 50%, dan akan dimatikan ketika kelembapan tanah mencapai nilai di atas 50%.
4. Pengujian prototipe alat telah dilakukan langsung di lokasi mitra *greenhouse* tanaman cabai selama tiga hari. Kesimpulannya, alat berfungsi secara optimal dalam mengendalikan suhu, kelembaban udara, dan kelembapan tanah. Selama periode pengujian tersebut, terlihat perubahan kondisi dari hari pertama hingga hari ketiga, dengan hasil rata-rata menunjukkan bahwa nilai suhu, kelembaban udara, dan kelembapan tanah stabil dan berada pada kondisi ideal untuk pertumbuhan tanaman cabai. Selain itu, sistem IoT juga beroperasi dengan baik, mampu menampilkan hasil pembacaan sensor secara akurat melalui aplikasi *Blynk*.

PERSANTUNAN

Alhamdulillah Rabbil 'Alamin, penulis ingin mengungkapkan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan inspirasi selama penulisan skripsi ini.

1. Tuhan Yang Maha Esa

Dengan berkah, anugerah, dan kekuatan dari Allah SWT, saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan sukses dan lancar.

2. Dosen Pembimbing

Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Agus Supardi S.T., M.T. atas bimbingan, petunjuk, dan motivasi yang diberikan sepanjang proses penulisan skripsi ini. Bimbingan Anda telah memberikan arah yang jelas dan berharga dalam penyusunan skripsi ini.

3. Keluarga

Kepada keluarga tercinta, terutama ibu dan bapak, terima kasih atas doa, dukungan moral, dan semangat yang selalu Anda berikan. Kehadiran dan kasih sayang keluarga adalah sumber kekuatan utama penulis.

4. Teman-teman

Terima kasih kepada teman-teman baik yang selalu memberikan semangat, inspirasi, dan dukungan dalam perjalanan penulisan skripsi ini. Kebersamaan kita menjadi pendorong untuk mencapai hasil terbaik.

5. Institusi dan Dosen Pengajar

Terima kasih kepada Universitas Muhammadiyah Surakarta dan seluruh dosen pengajar Fakultas Teknik Elektro yang telah menyediakan fasilitas, sumber daya, dan ilmu pengetahuan yang mendukung penulisan skripsi ini.

6. Semua Pihak yang Turut Serta

Penulis juga ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, tetapi telah memberikan kontribusi dalam berbagai bentuk. Semua dukungan Anda sangat dihargai.

Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan menjadi sumbangan kecil dalam bidang pengetahuan. Ucapan terima kasih yang tulus penulis haturkan kepada semua pihak yang telah turut serta dalam perjalanan penulisan skripsi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Firdhausi, A. R. (2018). Rancang Bangun *Smart Greenhouse* Untuk Budidaya Tanaman Cabai (*Capsicum Annum L.*) Berbasis *Android*. *Universitas Islam Indonesia*. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/12436>
- Harir, R., Novianta, M. A., & Kristiyana, S. (2019). Perancangan Aplikasi *Blynk* Untuk Monitoring Dan Kendali Penyiramaan Tanaman. *Elektrikal*, 6, 1–10. <https://www.99.co/blog/indonesia/harga-pompa-air-mini/>
- Kurniawan, A., Sulitiadi, S., & Ristiono, A. (2021). Monitoring Iklim Mikro pada *Greenhouse* Secara *Real Time* Menggunakan *Internet of Things (IoT)* Berbasis *Thingspeak*. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 10(4), 468–480. <http://dx.doi.org/10.23960/jtep-l.v10.i4.468-480>
- Lubis, H. R. (2020). Rancang Bangun *Smart System* Ruang *Greenhouse*. *Universitas Islam Indonesia*, 32. https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/28275/16524105_Herdian_Rizaldy_Lubis.pdf?sequence=1
- Maharani, D. M., Sutan, S. M., & Arimurti, P. (2018). Pengontrolan Suhu Dan Kelembaban (Rh) Terhadap Pertumbuhan Vegetatif Cabai Merah (*Capsicum Annum L.*) Pada *Plant factory*. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 6(2), 120–134. <https://jkptb.ub.ac.id/index.php/jkptb/article/view/464/399%0Ahttps://jkptb.ub.ac.id/index.php/jkptb/article/view/464/400%0Ahttps://jkptb.ub.ac.id/index.php/jkptb/article/view/464>
- Puspasari, F., Satya, T. P., Oktawati, U. Y., Fahrurrozi, I., & Prisyanti, H. (2020). Analisis Akurasi Sistem sensor *DHT22* berbasis *Arduino* terhadap *Thermohygrometer* Standar. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 16(1), 40. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v16i1.5776>
- Ristian, U., Ruslianto, I., & Sari, K. (2022). Sistem *Monitoring Smart Greenhouse* pada Lahan Terbatas Berbasis *Internet of Things (IoT)*. *Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika*, 8(1), 87. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jepin/article/view/52770/75676592894>
- Ronald, D. (2022). Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Kelembaban Tanah, Suhu Pada Tanaman cabai merah dan cabai rawit. *Universitas Negeri Semarang*, 1, 161–170. http://lib.unnes.ac.id/35603/1/5301414062_Optimized.pdf
- Setyawan, R. A., Muttaqin, A., & Khulud, H. (2022). Aplikasi *NODEMCU ESP8266* sebagai Pemantau Suhu dan Kelembaban Ruang Data Center. *Jurnal EECCIS (Electrics, Electronics, Communications, Controls, Informatics, Systems)*, 15(1), 23–28. <https://doi.org/10.21776/jeeccis.v15i1.1554>