

# Sistem Otomasi Suhu dan Kelembaban Pada *Greenhouse* Berbasis Sensor DHT22 dan Mikrokontroler

Irwan Heryanto Eryk<sup>\*a)</sup>, Swasmitha Arum Kusuma<sup>a)</sup>, Mohammad Noor Hidayat<sup>a)</sup>

(Received 20 April 2025 || Revised 30 Mei 2025 || Published 30 Juni 2025)

**Abstract:** Automatic control of temperature and humidity in greenhouses remains a critical challenge in precision agriculture, particularly in areas with limited access to modern technologies. This study aimed to design and implement an automated environmental control system using the DHT22 sensor and an Arduino microcontroller. The system was programmed to activate actuators, namely a water pump and a buzzer, based on predefined temperature and humidity thresholds. The research employed a hardware-based experimental method that included system programming, piping layout for water distribution, and field testing to validate sensor accuracy and control logic performance. The experimental results showed that the DHT22 sensor achieved high accuracy, with a temperature error of 0.02% and humidity errors ranging from 0.00% to 0.16%. The control logic functioned as expected, activating actuators only when the setpoint conditions were met, and the water distribution system operated efficiently using a 210-watt pump. Compared to prior studies that primarily focused on monitoring or single-aspect automation, this research offered a more comprehensive approach by integrating control logic, mechanical design, and electrical efficiency. The findings supported and expanded on previous work, particularly those utilizing similar sensors, but added value through direct implementation and real-world testing. This study contributed a practical and replicable solution for small- to medium-scale greenhouse automation, offering a low-cost and energy-efficient alternative for climate regulation in controlled agricultural environments.

**Keywords:** Greenhouse automation, DHT22 sensor, Arduino, temperature control, humidity regulation, embedded systems

## 1. Pendahuluan

Pertumbuhan populasi dunia yang pesat mendorong peningkatan kebutuhan pangan secara signifikan, dampaknya sektor pertanian untuk meningkatkan produktivitas tanpa menambah luas lahan. Salah satu pendekatan yang banyak diterapkan adalah pemanfaatan *greenhouse*, yang memungkinkan kontrol lingkungan tumbuh tanaman agar optimal sepanjang tahun [1]. *Greenhouse* mampu menciptakan iklim buatan dengan parameter lingkungan seperti suhu dan kelembaban yang dapat diatur sesuai kebutuhan fisiologis tanaman [2]. Kedua parameter ini dapat mempengaruhi hasil dan kualitas produk tanaman [3]. Oleh karena itu, penelitian mengenai sistem kontrol otomatis suhu dan kelembaban di dalam *greenhouse* menjadi penting sebagai dasar penerapan pertanian presisi yang efisien dan efektif.

Salah satu tantangan utama dalam pengelolaan *greenhouse* modern, khususnya di daerah terpencil atau dengan infrastruktur terbatas, adalah minimnya sistem kendali lingkungan yang bekerja secara otomatis dan andal. Sebagian besar sistem masih mengandalkan pengaturan manual, yang rentan terhadap inkonsistensi dan keterlambatan respons terhadap perubahan iklim mikro di dalam ruangan tanam. Hal ini berdampak langsung pada penurunan efisiensi budidaya, pertumbuhan tanaman yang tidak optimal, serta peningkatan risiko gagal panen.

Beberapa penelitian terkini menunjukkan kemajuan signifikan dalam pengembangan otomatisasi *greenhouse* berbasis IoT, mikrokontroler, dan sensor DHT22. Misalnya, Imran et al. mengembangkan sistem monitoring dan pengendalian suhu otomatis berbasis IoT pada *greenhouse* menggunakan sensor DHT22 dan ESP32; sistem ini mampu menjaga kestabilan suhu dengan efisiensi pengelolaan lingkungan yang meningkat secara signifikan [4]. Ambarwari et al merancang sistem IoT berbasis NodeMCU ESP8266 dan sensor DHT22 untuk mengontrol irigasi di *greenhouse*; hasil pengujian menunjukkan akurasi hingga 99,41% dalam kontrol durasi penyiraman, menandakan efektivitas tinggi dalam pengelolaan kelembaban dan suhu lingkungan [5]. Penelitian Widiono & Hartadi juga memperkenalkan sistem otomasi berbasis IoT untuk proses *fogging* pada tanaman di *greenhouse*

menggunakan sensor suhu, Firebase, dan mikrokontroler; implementasi ini menunjukkan efektivitas tinggi dalam menjaga kelembaban optimal dengan error sensor rata-rata hanya 2,73% [6]. Kurniawan & Witanti mengintegrasikan sensor DHT22, *soil moisture*, serta Blynk-IoT di Arduino Mega sebagai pusat kendali; sistem ini berhasil mengontrol suhu dan kelembaban serta penyiraman dan pencahayaan otomatis dengan akurasi > 93% untuk aktuator utama seperti fan dan LED strip [7]. Austria et al. (2023) membangun sistem *greenhouse* pintar berbasis IoT untuk hidroponik yang memantau berbagai parameter seperti suhu, kelembaban, pH air, dan cahaya melalui platform ThingSpeak; mereka menyarankan penggunaan energi surya untuk meningkatkan kemandirian sistem dalam jangka panjang [8].

Berdasarkan hasil studi terdahulu, dapat dikatakan bahwa sebagian besar penelitian berfokus pada pengembangan sistem pemantauan dan kontrol berbasis IoT. Namun, pendekatan yang digunakan cenderung masih parsial, baik dari sisi integrasi komponen maupun dari aspek keberlanjutan daya dan pemrosesan logika kontrol aktual. Sebagian besar sistem belum memadukan secara utuh antara perancangan sistem pengendalian suhu dan kelembaban otomatis, dengan validasi teknis terhadap perhitungan beban pompa, efektivitas sistem pemipaan, serta pengujian langsung pada kondisi lingkungan nyata. Selain itu, meskipun beberapa studi telah menyebutkan potensi penggunaan energi surya, namun implementasinya dalam kontrol suhu berbasis logika otomatis belum banyak diangkat secara menyeluruh. Celah inilah yang menjadi fokus utama dalam penelitian ini untuk diisi.

Untuk menutup celah tersebut, penelitian ini menghadirkan sistem otomatisasi suhu dan kelembaban pada *greenhouse* yang diimplementasikan dan diuji secara langsung menggunakan sensor DHT22 dan mikrokontroler Arduino. Sistem ini akan mengoperasikan aktuator seperti kipas dan pompa kabut secara otomatis berdasarkan ambang batas suhu dan kelembaban yang telah ditentukan [9]. Kebaruan utama terletak pada pengujian logika kontrol berbasis kondisi suhu, waktu aktif sistem, dan status aktuator, yang divalidasi melalui percobaan berulang. Selain aspek kontrol, penelitian ini juga memasukkan analisis teknis pemipaan dan perhitungan daya motor pompa untuk menjamin kecukupan

\*Korespondensi eryk@polinema.ac.id

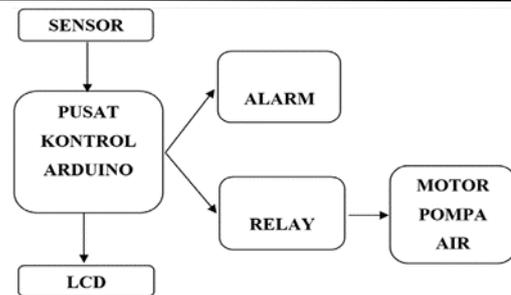
a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Kota Malang, Indonesia

distribusi air dan efisiensi kerja sistem. Pendekatan ini belum banyak ditemukan dalam studi sebelumnya yang cenderung terfokus pada aspek pemantauan atau irigasi saja. Oleh karena itu, sistem yang dikembangkan tidak hanya presisi secara sensorik, tetapi juga komprehensif dari sisi perancangan mekanik dan kelistrikan.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol otomatis suhu dan kelembaban pada *greenhouse* berbasis sensor DHT22 dan mikrokontroler Arduino. Sistem ini dirancang untuk bekerja secara responsif terhadap ambang batas suhu dan kelembaban, serta mengaktifkan aktuator seperti pompa air dan buzzer sesuai kebutuhan. Selain itu, penelitian ini melibatkan perhitungan kebutuhan debit air dan daya motor pompa, untuk memastikan sistem berjalan tidak hanya efisien secara elektronik, tetapi juga fungsional secara mekanik. Dengan menggabungkan teknologi sensor, sistem kontrol otomatis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam mendukung transformasi digital di sektor pertanian, khususnya dalam pengembangan sistem *greenhouse* yang efisien dan berkelanjutan [10], [11].

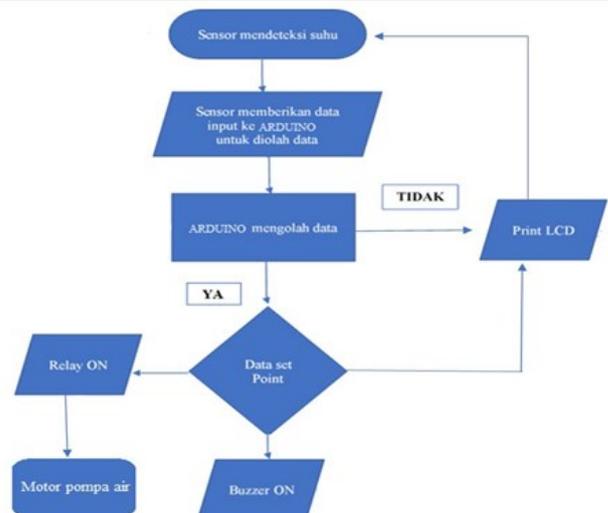
## 2. Metode

Metode penelitian ini meliputi perencanaan sistem otomasi suhu dan kelembaban pada *greenhouse*, pemilihan komponen untuk pembuatan otomasi dan kinerja alat tersebut. Gambar 2.1 merupakan diagram blok sistem kontrol otomatis suhu dan kelembaban pada sebuah *greenhouse* yang dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino. Sistem ini dibangun menggunakan beberapa komponen utama, yaitu mikrokontroler Arduino Uno, sensor DHT22, LCD I2C, modul relay 2 channel, serta pompa *submersible* sebagai aktuator penyemprot air. Arduino Uno digunakan luas pada sistem otomasi *greenhouse* karena *low-cost*, *open-source*, mudah diprogram, dan kompatibel dengan berbagai sensor [12], [13]. Sensor yang digunakan adalah DHT22, yang memiliki tingkat akurasi tinggi, rentang pengukuran yang luas, dan konsumsi daya rendah [14], [15], [16]. Sensor ini mampu membaca suhu pada  $-40^{\circ}\text{C}$  hingga  $80^{\circ}\text{C}$  (akurasi  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ) dan kelembaban pada 0–100% RH (akurasi  $\pm 2\text{--}5\%$  RH). Data dari sensor ditampilkan secara *real-time* melalui LCD 16x2 yang terintegrasi dengan modul I2C. Aktuator utama berupa pompa *submersible*, untuk menyemprotkan air ke dalam *greenhouse* guna menurunkan suhu saat melebihi ambang batas. Pompa ini dipilih berdasarkan kebutuhan debit penyemprotan sebesar 8,4 liter/menit atau 0,504  $\text{m}^3/\text{jam}$ , dengan estimasi daya yang dibutuhkan sebesar 210 Watt. Sumber air berasal dari tandon yang berjarak 23,1 meter dengan elevasi *greenhouse*  $\pm 3$  meter. Pompa diaktifkan selama  $\pm 5$  menit setiap kali sistem mendeteksi suhu melebihi nilai ambang. Modul relay 2 channel digunakan untuk mengendalikan arus kerja pompa. Relay yang digunakan memiliki tegangan kerja 5V dan mendukung arus hingga 10A pada 250V AC atau 30V DC. Salah satu channel relay digunakan untuk mengaktifkan pompa, sedangkan channel lainnya dapat dimanfaatkan untuk aktuator cadangan seperti sistem pencahayaan atau kipas pendingin. Sistem juga dilengkapi buzzer sebagai alarm, yang menyala bersamaan dengan aktivasi relay untuk memberikan peringatan visual dan auditori saat suhu melampaui batas.



GAMBAR 2.1 BLOK DIAGRAM PERENCANAAN PERANGKAT KERAS

Sedangkan Gambar 2.2 menunjukkan cara kerja alat. DHT22 membaca suhu dan kelembaban udara di dalam *greenhouse*, kemudian mengirimkan data dalam bentuk sinyal digital langsung ke Arduino untuk diproses dan dikonversi ke dalam satuan suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ) dan kelembaban relatif (%RH). Hasil pembacaan ditampilkan secara *real-time* melalui layar LCD sebagai media monitoring kondisi lingkungan. Ketika nilai suhu yang terdeteksi melebihi ambang batas (*set point*) yang telah ditentukan, Arduino akan mengaktifkan modul relay untuk menyalakan pompa air sebagai respons pendinginan. Secara bersamaan, buzzer akan berbunyi sebagai alarm peringatan, menandakan bahwa suhu telah mencapai atau melebihi nilai ambang yang diprogram dalam sistem.



GAMBAR 2.2 DIAGRAM ALIR KINERJA ALAT

Gambar 2.3 dan Gambar 2.4 menunjukkan ilustrasi peletakan alat utama dan jalur pemipaan. Sensor diletakkan di titik tengah dinding *greenhouse* untuk memperoleh representasi suhu dan kelembaban ruangan dengan luas 9x3 meter secara merata. Pipa air dirancang melingkar mengikuti struktur atap bagian dalam, untuk memastikan distribusi semprotan air menjangkau seluruh area tanam untuk mempercepat penurunan suhu *greenhouse*. Posisi penyemprot berlawanan arah dengan sensor guna mencegah kerusakan sensor akibat percikan air secara langsung.



GAMBAR 2.3 PELETAKAN ALAT DAN PERENCANAAN PIPA TAMPAK LUAR



GAMBAR 2.4 PELETAKAN ALAT DAN PERENCANAAN PIPA TAMPAK DALAM

Dalam merencanakan pemipaan perlu dilakukan perhitungan akan kebutuhan air untuk penyiraman dalam sehari menggunakan Persamaan (2-1).

$$Q_a = \Sigma \text{air dalam 1 kali penyiraman} \times \text{intesitas penyiraman} \quad (2-1)$$

Kemudian dihitung pula diameter pipa yang digunakan menggunakan Persamaan (2-2).

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} \quad (2-2)$$

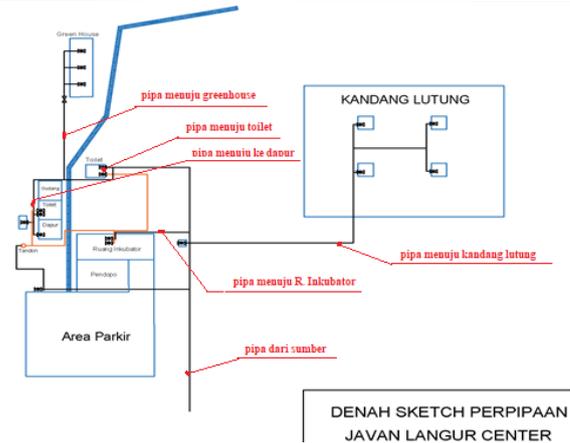
Dimana

D = diameter dalam pipa mm atau inch

Q = kapasitas / debit aliran m<sup>3</sup>/jam atau liter/menit

V = kecepatan aliran fluida m/s

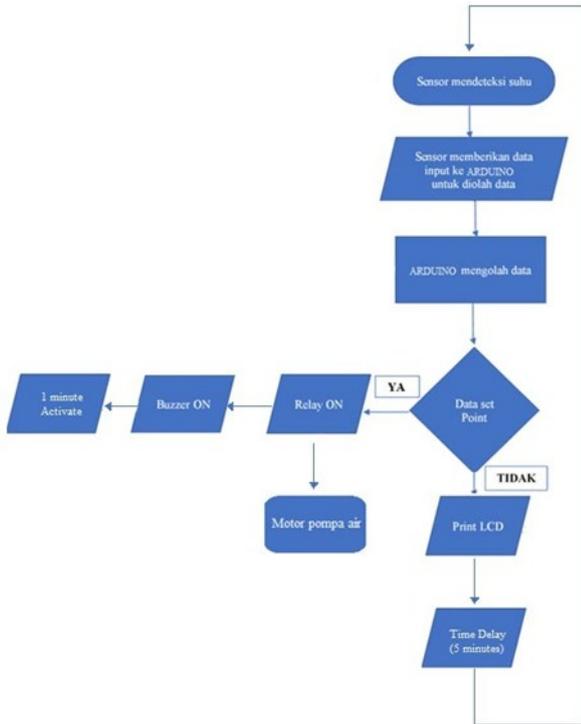
Gambar 2.5 menunjukkan skema sistem perpipaan terintegrasi, dirancang untuk menyalurkan air bersih dari satu sumber utama ke berbagai titik pemanfaatan di kawasan Javan Langur Center, yang merupakan kawasan *greenhouse* berada. Jalur distribusi air mengalir dari sumber utama yaitu tandon air menuju beberapa lokasi penting, termasuk *greenhouse*. Terdapat pula pipa pembuangan yang diarahkan ke danur (saluran pembuangan), sebagai bagian dari sistem sanitasi kawasan. Pipa menuju *greenhouse* digunakan dalam sistem kontrol iklim mikro untuk tanaman, sedangkan pipa ke ruang inkubator dan kandang lutung berperan penting dalam mendukung aktivitas konservasi dan rehabilitasi satwa.



GAMBAR 2.5 PERENCANAAN PEMIPAAN

### 3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 3.1 menjelaskan alur kerja pengujian sistem otomatisasi suhu pada *greenhouse* selama proses pengujian. Sistem diawali ketika sensor suhu (DHT22) mendeteksi nilai suhu udara di dalam *greenhouse* dan mengirimkan data tersebut ke mikrokontroler Arduino untuk diproses. Arduino kemudian membandingkan nilai suhu yang terbaca dengan ambang batas (set point) yang telah ditentukan dalam program. Jika nilai suhu melebihi set point, sistem secara otomatis mengaktifkan modul relay untuk menyalakan motor pompa air, dan secara bersamaan mengaktifkan buzzer sebagai tanda peringatan. Pompa akan menyemprotkan air ke dalam *greenhouse* selama 1 menit, guna menurunkan suhu dan meningkatkan kelembaban. Namun jika suhu berada di bawah set point, sistem hanya akan mencetak (print) nilai suhu ke layar LCD, dan kemudian masuk ke mode penundaan (delay) selama 5 menit sebelum melakukan pembacaan ulang. Rangkaian logika ini memungkinkan sistem bekerja secara otomatis, terprogram, dan berulang, untuk menjaga kondisi suhu tetap stabil tanpa perlu intervensi manual.



GAMBAR 3.1 DIAGRAM BLOK CARA KERJA ALAT SAAT PENGUJIAN

Pengujian sensor DHT22 dalam sistem ini dilakukan untuk mengevaluasi akurasi pembacaan suhu pada alat yang digunakan dalam *greenhouse*. Proses pengujian dilaksanakan di luar ruangan, dimulai pukul 12.48 hingga 20.05 WIB, dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap thermometer digital sebagai referensi. Komunikasi data antara sensor dan mikrokontroler dikonfigurasi melalui komunikasi serial dengan kecepatan baudrate 9600 bps dan format 8-bit, menggunakan platform Arduino IDE melalui port COM6. Selama pengujian berlangsung, data suhu ditampilkan secara *real-time* pada layar LCD sebagai media pemantauan langsung.

Gambar 3.2 menunjukkan dokumentasi salah satu hasil pengujian akurasi pengukuran suhu dan kelembaban udara di dalam *greenhouse* oleh alat. Hasil pengukuran kedua parameter tersebut dibandingkan dengan thermometer digital sebagai alat referensi. Nilai suhu yang terbaca oleh sistem berbasis sensor DHT22 dan ditampilkan pada LCD adalah 25,00 °C, sedangkan thermometer referensi menunjukkan 25,3 °C, dengan selisih yang sangat kecil. Untuk parameter kelembaban, sistem menunjukkan angka 73,80% RH, sementara alat referensi mencatat 73% RH, yang juga menunjukkan kesesuaian nilai yang cukup tinggi. Perbandingan ini menjadi bukti bahwa sistem monitoring suhu dan kelembaban yang dirancang memiliki tingkat akurasi yang layak untuk diaplikasikan dalam lingkungan *greenhouse*. Kesamaan data antara LCD sistem dan alat ukur digital memperkuat keandalan sensor DHT22 dalam memberikan informasi *real-time* yang dibutuhkan untuk pengambilan keputusan dalam sistem kontrol otomatis.



GAMBAR 3.2 PERBANDINGAN PENGUKURAN SUHU DAN KELEMBABAN MENGGUNAKAN ALAT DENGAN TERMOMETER DIGITAL

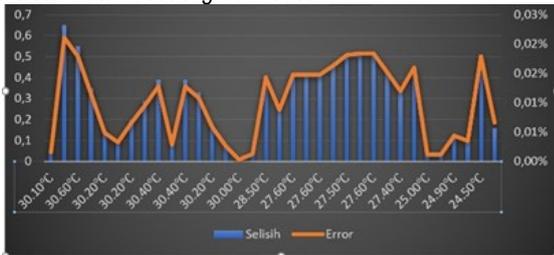
Gambar 3.3 menunjukkan grafik perbandingan antara nilai kelembaban yang terbaca oleh prototipe dengan nilai referensi dari alat ukur standar, yang ditunjukkan melalui dua parameter: selisih nilai absolut (dalam batang biru) dan nilai galat relatif (dalam garis oranye). Sumbu horizontal menunjukkan nilai kelembaban aktual (%), sumbu vertikal kiri menunjukkan nilai selisih absolut, dan sumbu vertikal kanan menunjukkan nilai galat (%). Grafik memperlihatkan bahwa galat kelembaban berada pada rentang 0,00% hingga 0,16%, yang menunjukkan prototipe memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Pada kelembaban di bawah 50%, terlihat fluktuasi selisih yang relatif lebih besar, namun nilai galat tetap dalam ambang yang dapat diterima untuk aplikasi lingkungan seperti *greenhouse*. Seiring meningkatnya kelembaban udara, baik nilai selisih maupun galat cenderung menurun dan stabil mendekati nol. Hal ini menunjukkan bahwa sistem kontrol berbasis sensor DHT22 memiliki performa yang baik dalam mendeteksi kelembaban dengan presisi tinggi, khususnya pada kondisi kelembaban sedang hingga tinggi.



GAMBAR 3.3 GRAFIK PERBANDINGAN NILAI PENGUKURAN KELEMBABAN

Gambar 3.4 menunjukkan grafik perbandingan antara nilai suhu yang terbaca oleh prototipe dengan nilai referensi dari alat ukur standar, yang ditunjukkan melalui dua parameter: selisih nilai absolut (dalam batang biru) dan nilai galat relatif (dalam garis oranye). Rentang suhu yang dianalisis berada antara 24,50°C hingga 30,10°C, yang mewakili variasi suhu lingkungan selama proses pengujian. Sumbu horizontal menunjukkan suhu yang terukur oleh prototipe. Sumbu vertikal kiri menunjukkan selisih suhu absolut antara sensor DHT22 dan alat ukur standar, dengan nilai berkisar antara 0,0 hingga 0,7°C. Sumbu vertikal kanan menunjukkan nilai galat relatif, yaitu persentase kesalahan dari hasil pengukuran sensor terhadap suhu referensi, yang berada pada kisaran 0,00% hingga 0,1%. Dari Gambar 3.4, dapat diamati bahwa meskipun terdapat fluktuasi selisih pengukuran pada beberapa titik suhu, nilai galat tetap berada dalam batas yang sangat kecil. Ini menunjukkan bahwa sensor DHT22 memiliki

akurasi yang sangat baik dalam membaca suhu lingkungan, dan layak digunakan dalam aplikasi pengendalian iklim mikro seperti pada sistem otomatisasi *greenhouse*.



GAMBAR 3.4 GRAFIK PERBANDINGAN NILAI PENGUKURAN SUHU

Tabel 3.1 menunjukkan hasil evaluasi akurasi dan kecerdasan logika kontrol dalam sistem otomatisasi suhu. Baris pertama menunjukkan bahwa ketika suhu yang terbaca melebihi *set point* dan sistem dalam mode monitoring aktif, maka relay bekerja sebagaimana mestinya, yaitu menyala (ON). Baris kedua menunjukkan bahwa meskipun suhu telah mencapai *set point*, sistem sedang berada dalam kondisi *delay*. Dalam kondisi ini, relay tidak diaktifkan, dan itu sesuai dengan logika yang diprogram, sehingga dianggap normal. Baris ketiga menunjukkan bahwa saat sistem siap bekerja (monitoring aktif), tetapi suhu belum mencapai nilai *set point*, maka relay tetap tidak diaktifkan. Hal ini membuktikan bahwa sistem kontrol telah bekerja dengan logika keputusan yang tepat dengan mempertimbangkan suhu aktual maupun status waktu eksekusi sistem.

TABEL 3.1 EVALUASI LOGIKA AKTIVASI RELAY BERDASARKAN PEMBACAAN SUHU DAN STATUS WAKTU

| No | Suhu Terbaca (°C) | Nilai Set Point (°C) | Status Waktu Sistem       | Status Relay | Keterangan  |
|----|-------------------|----------------------|---------------------------|--------------|---|
| 1  | 30,5              | 30,0                 | Monitoring Aktif          | ON           | Sensor mendeteksi suhu di atas set point; relay aktif |
| 2  | 30,5              | 30,0                 | Dalam Delay (tidak aktif) | OFF          | Suhu memenuhi syarat, tetapi sistem dalam mode delay  |
| 3  | 29,8              | 30,0                 | Monitoring Aktif          | OFF          | Suhu belum mencapai set point; relay tidak aktif      |

Data yang dibutuhkan untuk mendesain penyaluran air atau sistem pemipaan pada adalah *greenhouse* sebagai berikut. Panjang bangunan *greenhouse* = 9 meter, lebar bangunan *greenhouse* = 3 meter, tinggi bangunan *greenhouse* = 4 meter, jarak tandon ke *greenhouse* = 23,1 meter, tinggi bawah tandon ke tanah = 2,5 meter. Kebutuhan air penyiraman dalam satu hari dapat dihitung dengan Persamaan (2-1) menghasilkan nilai  $Qd = 5L \times 5 = 25 L = 0,025m^3/hari$

Pemakaian rata-rata air dalam setiap detiknya adalah:

$$Q = \frac{0,025m^3/hari}{3600 \text{ second}} = 0,00000694 = 6,94 \times 10^{-6}m^3/s$$

Berdasarkan data-data tersebut dapat dihitung diameter pipa menggunakan Persamaan (2-2).

$$D = \sqrt{\frac{4 \times (6,94 \times 10^{-6}m^3/s)}{\pi \times 4 \text{ m/s}}} = \sqrt{2,21 \times 10^{-6}} = 1,49 \times 10^{-3}m$$

Pipa yang digunakan sesuai dengan perhitungan tersebut yaitu pipa di atas ukuran  $1,49 \times 10^{-3}m$ . Sesuai dengan katalog maka dapat digunakan pipa PVC dengan ukuran 0.5 inch.

Konstanta *fitting* (Kf) rugi-rugi yang terjadi pada pipa fluida yang dapat dihitung sesuai dengan gambar layout ialah sebagai berikut.

- Kf 1 : 5 Siku 90° = memiliki nilai Kf sebesar 0.9 / siku
- Kf 2 : 2 Siku 45° = memiliki nilai Kf sebesar 0,4 / siku.
- Kf 3 : 2 Tee = memiliki nilai Kf sebesar 1,8/komponen.
- Kf 4 : 1 Katup bola, terbuka penuh = memiliki nilai Kf sebesar 10,0.

Sehingga, diperoleh nilai Kf pada sistem pemipaan tersebut sebesar:

$$Kf = Kf1 + Kf2 + Kf3 + Kf4$$

$$Kf = (5 \times 0,9) + (2 \times 0,4) + (2 \times 1,8) + 10,0$$

$$Kf = 4,5 + 0,8 + 3,6 + 10,0 = 18,9$$

Sedangkan, nilai dari angka Reynold adalah:

$$Re = \frac{4m/s \times (1,27 \times 10^{-2}m)}{1,31 \times 10^{-6}} = 3,88 \times 10^4m^2/s$$

Nilai faktor kekasaran (k) pipa PVC diameter 0,5 inchi sebesar 0,0012 inchi atau 0,03 m. sehingga nilai koefisien gesek adalah:

$$f = \frac{0,25}{\left[ \log \left( \frac{3 \times 10^{-6}}{3,7 \times (1,27 \times 10^{-2})^2} + \frac{5,74}{(3,88 \times 10^4)^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = \frac{0,25}{[\log(13488,0309892)]^2} = \frac{0,25}{17,06} = 0,015$$

Nilai dari koefisien pipa (Kpipe) yaitu:

$$Kpipe = \frac{0,015 \times 14,5 \text{ m}}{(1,27 \times 10^{-2}m)} = 17,126$$

Total dari koefisien *fitting* serta koefisien pipa, sebagai berikut :

$$Ktotal = Kfitting + Kpipe$$

$$Ktotal = 18,9 + 17,126 = 36,03$$

Pipa untuk penyiraman diletakkan pada bagian atas dengan posisi menggantung, sehingga terdapat jarak antara pipa dengan atap *greenhouse* yaitu sebesar 1 meter. Dengan diketahui dari data sebelumnya yaitu Ktotal serta kecepatan aliran air (V), sedangkan untuk percepatan gravitasi digunakan dengan nilai 9,8 m/s<sup>2</sup> maka:

$$H_{dinamis} = \frac{36,03 \times (4 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2} = 29,41 \text{ m}$$

Sehingga nilai head total dari perencanaan pemipaan tersebut sebesar:

$$H_{total} = 3 \text{ m} + 29,41 \text{ m} = 32,41 \text{ meter}$$

Agar laju tetap konstan maka diperlukan penyesuaian debit air yang harus mengalir pada pipa tersebut, yaitu sebesar:

$$Q = 4 \text{ m/s} \times \left( \frac{\pi \times (1,27 \times 10^{-2}m)^2}{4} \right) = 5,1 \times 10^{-4}m^3/s$$

Nilai daya hidrolis adalah:

$$Ph = \frac{(5,1 \times 10^{-4}m^3/s) \times 32,41m \times 1000kg/m^3 \times 9,8m/s^2}{1000} = 0,162kW$$

Perhitungan daya poros pompa digunakan asumsi nilai efisiensi pompa sebesar 0,85 yaitu:

$$Ppump = \frac{0,162kW}{0,85} = 0,190kW$$

Untuk menentukan daya motor pompa yang akan digunakan perlu diasumsikan nilai efisiensi motor serta efisiensi transmisi digunakan nilai 0,95 untuk masing-masing. Maka :

$$Pmotor = \frac{0,190kW}{0,95 \times 0,95} = 0,210kW = 210 \text{ Watt}$$

Maka kebutuhan motor pompa untuk penyiraman pada *greenhouse*

harus memiliki minimal daya sebesar 210 Watt. Total energi yang digunakan pada greenhouse perhari = 60 Watt + 62,5 Watt = 122,5 Watt atau 0,1225 kWh.

Sebagai perbandingan dengan penelitian sebelumnya, penelitian oleh Widiono & Hartadi melaporkan error kelembaban rata-rata sebesar 2,73% pada sistem mereka [6], sedangkan penelitian Ambarwari et al. mencatat akurasi hingga 99,41% namun hanya untuk kontrol irigasi, bukan parameter suhu [5]. Dalam konteks ini, sistem yang diusulkan dalam penelitian ini menunjukkan performa pengukuran yang lebih stabil dan presisi, terutama pada kelembaban tinggi dan suhu fluktuatif.

#### 4. Kesimpulan

Sistem yang dirancang menggunakan sensor DHT22 dan mikrokontroler Arduino berhasil mengendalikan aktuator pompa dan buzzer secara otomatis berdasarkan ambang batas suhu, serta menunjukkan akurasi tinggi dalam pembacaan suhu dan kelembaban, dengan error suhu sebesar 0,02% dan kelembaban antara 0,00%–0,16%. Integrasi desain pemipaan dan perhitungan kebutuhan daya pompa sebesar 210 Watt menunjukkan bahwa sistem tidak hanya presisi secara sensorik, tetapi juga efisien dari sisi mekanik dan kelistrikan. Hasil ini mendukung dan memperluas temuan dari penelitian sebelumnya, seperti studi oleh Ambarwari et al. dan Widiono & Hartadi, namun melampaui cakupannya karena mencakup uji logika kontrol dan aspek hidrolis yang belum banyak dibahas dalam studi sejenis. Pengembangan sistem dapat diarahkan pada penyempurnaan algoritma kontrol berbasis kecerdasan buatan dan serta perluasan cakupan monitoring berbasis jaringan untuk skala lahan yang lebih besar.

#### Referensi

- [1] 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* 2025, Vol. 25, Page 1388, vol. 25, no. 5, p. 1388, Feb. 2025, doi: 10.3390/S25051388.
- [2] R. V. Chimankare, S. Das, K. Kaur, and D. Magare, "A review study on the design and control of optimised greenhouse environments," *J. Trop. Ecol.*, vol. 39, no. 12, p. e26, Jun. 2023, doi: 10.1017/S0266467423000160.
- [3] M. J. M. Harrap, N. Hempel de Ibarra, H. D. Knowles, H. M. Whitney, and S. A. Rands, "Floral Humidity in Flowering Plants: A Preliminary Survey," *Front. Plant Sci.*, vol. 11, p. 503078, Mar. 2020, doi: 10.3389/FPLS.2020.00249/BIBTEX.
- [4] F. R. Imran, G. Rahana, F. H. Mahda, and D. A. L. Sari, "Sistem Monitoring dan Pengendalian Suhu Otomatis Berbasis IoT Untuk Greenhouse Dengan Algoritma Fuzzy Logic," *J. Electr. F.*, vol. 1, no. 2, pp. 71–81, Feb. 2024, doi: 10.63440/JEF.V1I2.41.
- [5] A. Ambarwari, D. Kania Widyawati, and A. Wahyudi, "Sistem Pemantau Kondisi Lingkungan Pertanian Tanaman Pangan dengan NodeMCU ESP8266 dan Raspberry Pi Berbasis IoT," *J. RESTI (Rekayasa Sist. dan Teknol. Informasi)*, vol. 5, no. 3, pp. 496–503, Jun. 2021, doi: 10.29207/RESTI.V5I3.3037.
- [6] S. Widiono and I. H. TU, "Fuzzy Logic Implementation In Internet Of Things Technology For Fogging Greenhouse Plants," *Int. J. Eng. Technol. Nat. Sci.*, vol. 5, no. 1, pp. 59–66, Jul. 2023, doi: 10.46923/IJETS.V5I1.205.
- [7] D. Kurniawan and A. Witanti, "Prototype of Control and Monitor System with Fuzzy Logic Method for Smart Greenhouse," *Indones. J. Inf. Syst.*, vol. 3, no. 2, pp. 116–127, Feb. 2021, doi: 10.24002/IJIS.V3I2.4067.
- [8] 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," *Int. J. Comput. Sci. Res.*, vol. 7, pp. 2111–2136, May 2023, doi: 10.25147/ijcsr.2017.001.1.149.
- [9] N. W. Rasmini, "PERENCANAAN PEMILIHAN POMPA DAN SISTEM KONTROL KERJA POMPA UNTUK PENYEDIAAN AIR BERSIH PADA RUMAH TANGGA," *Matrix J. Manaj. Teknol. dan Inform.*, vol. 7, no. 2, pp. 32–37, Jul. 2017, doi: 10.31940/MATRIX.V7I2.539.
- [10] Y. (Yayu) Romdhonah, H. (Herry) Suhardiyanto, E. (Erizal) Erizal, and S. K. (Satyanto) Saptomo, "Analisis Ventilasi Alamiah Pada Greenhouse Tipe Standard Peak Menggunakan Computational Fluid Dynamics," *J. Ilm. Rekayasa Pertan. dan Biosist.*, vol. 3, no. 2, pp. 170–178, 2015, Accessed: Jul. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.neliti.com/publications/97481/>
- [11] S. Mansoor, S. Iqbal, S. M. Popescu, S. L. Kim, Y. S. Chung, and J. H. Baek, "Integration of smart sensors and IOT in precision agriculture: trends, challenges and future prospectives," *Front. Plant Sci.*, vol. 16, p. 1587869, May 2025, doi: 10.3389/FPLS.2025.1587869/XML.
- [12] I. Ardiansah, N. Bafdal, E. Suryadi, and A. Bono, "Greenhouse Monitoring and Automation Using Arduino: a Review on Precision Farming and Internet of Things (IoT)," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 10, no. 2, pp. 703–709, Apr. 2020, doi: 10.18517/IJASEIT.10.2.10249.
- [13] F. A. Jolly et al., "Analyzing the efficiency of Arduino UNO microcontroller in monitoring and controlling the microclimatic parameters of greenhouse," *J. Agrometeorol.*, vol. 26, no. 1, pp. 51–55, Mar. 2024, doi: 10.54386/JAM.V26I1.2520.
- [14] A. H. Saptadi, "Perbandingan Akurasi Pengukuran Suhu dan Kelembaban Antara Sensor DHT11 dan DHT22," *J. INFOTEL*, vol. 6, no. 2, pp. 49–56, Nov. 2014, doi: 10.20895/INFOTEL.V6I2.16.
- [15] A. Siswoyo, "Optimization of Temperature Sensor Selection for Incubators: Real-Time Accuracy Analysis of DHT22, LM35, and DS18B20 in Controlled Environment Simulations," *Internet Things Artif. Intell. J.*, vol. 5, no. 1, 2025, doi: 10.31763/iota.v5i1.877.
- [16] I. Made, S. Wibawa, and K. Putra, "Design of air temperature and humidity measurement based on Arduino ATmega 328P with DHT22 sensor," *Int. J. Phys. Sci. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 9–17, Jan. 2022, doi: 10.53730/IJPSE.V6N1.3065.