

Otomasi dan *Monitoring* Berbasis ESP32 untuk Kondisi Ruang Ideal Pertumbuhan Kacang Hijau dengan *Fuzzy Logic*

Raihan Atthariq Wahyono^{1*}, Elta Sonalitha², Resi Dwi Jayanti Kartika Sari³
^{1,2,3}Universitas Merdeka, Malang

*Penulis Korespondensi, email: raihanatthariq12@gmail.com

Received: 22/07/2025

Revised: 02/08/2025

Accepted: 03/08/2025

Abstract. This study designs an automated monitoring system based on Fuzzy logic to create ideal environmental conditions for the growth of mung bean sprouts. The system integrates a DHT22 sensor to measure air temperature and humidity, a capacitive sensor to monitor the moisture level of Rockwool growing media, and a pH sensor to assess the acidity of the nutrient solution. Sensor data is processed by a microcontroller to automatically control a pump that delivers MIX AB nutrient solution. The input variables include temperature, humidity, pH level, and media moisture, while the output is the operation of the water pump. The urgency of this research arises from the increasing need for precision agriculture technologies that can address labor shortages, inefficient manual maintenance, and the impacts of climate change on crop environments. This system is designed as an efficient, practical solution that can be easily implemented. Experimental results show that it maintains optimal environmental parameters: 25–31 °C temperature, 70–80% air humidity, pH 5.5–6.5, and 60–80% media moisture. The automation supports consistent and sustainable sprout growth.

Keywords: Fuzzy Logic, Automation and monitoring systems, Matlab, Simulation

Abstrak. Penelitian ini merancang sistem pemantauan otomatis berbasis logika *Fuzzy* guna menciptakan kondisi lingkungan ideal bagi pertumbuhan kecambah kacang hijau. Sistem terdiri dari sensor DHT22 untuk memantau suhu dan kelembapan udara, sensor kapasitif untuk mengukur kelembapan media tanam rockwool, serta sensor pH untuk memantau tingkat keasaman larutan nutrisi. Data dari sensor diproses oleh mikrokontroler untuk mengatur pompa yang menyuplai larutan MIX AB secara otomatis. Parameter masukan meliputi suhu, kelembapan udara, pH air, dan kelembapan media tanam, dengan keluaran berupa kendali kerja pompa air. Urgensi penelitian ini terletak pada meningkatnya kebutuhan akan teknologi pertanian presisi yang mampu mengatasi keterbatasan tenaga kerja, inefisiensi pemeliharaan tanaman, serta dampak perubahan iklim yang memengaruhi kestabilan lingkungan tumbuh. Sistem ini dirancang untuk menjadi solusi otomatis yang efisien dan mudah diterapkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga parameter lingkungan dalam rentang optimal: suhu 25–31 °C, kelembapan udara 70–80 %, pH 5,5–6,5, dan kelembapan media 60–80 %. Otomatisasi ini mendukung pertumbuhan kecambah secara stabil dan berkelanjutan.

Kata Kunci: Logika *Fuzzy*, Otomasi dan sistem monitoring, Matlab, Simulasi

I. PENDAHULUAN

Kacang hijau (*Vigna radiata*) merupakan salah satu komoditas legum yang memiliki tingkat permintaan tinggi di kalangan masyarakat Indonesia, mengingat potensi pengolahannya yang beragam dalam berbagai jenis hidangan. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), produksi kacang hijau di Provinsi Sumatera Barat pada tahun 2022 tercatat sebesar 784,00 ton, sedangkan di Provinsi Nusa Tenggara Timur mencapai 18.187 ton [1].

Dalam proses pengujian kecambah, perhatian terhadap sterilitas dan kondisi lingkungan yang optimal pada media tanam sangat penting, karena faktor-faktor tersebut berpengaruh langsung terhadap kualitas benih pada fase perkecambahan. Untuk kacang hijau, suhu optimal yang dibutuhkan berkisar antara 28–30 °C dengan tingkat kelembaban relatif antara 50–90%. [1]

Vigna radiata tidak hanya dimanfaatkan sebagai bahan pangan, tetapi juga memiliki nilai kesehatan yang signifikan bagi fungsi fisiologis

tubuh. Dalam setiap 100 gram kacang hijau mentah, terkandung berbagai nutrisi penting, antara lain 23,86 gram protein, 132 mg kalsium, 189 mg magnesium, 6,74 mg zat besi, 0,382 mg vitamin B6, 114 IU vitamin A, 0,51 mg vitamin E, dan 9,0 µg vitamin K [2]. Kacang hijau merupakan anggota dari kelompok polong-polongan yang dikenal memiliki kandungan protein nabati yang tinggi, sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan baku dalam berbagai produk olahan makanan. Selain itu, kacang hijau juga dipandang sebagai alternatif yang potensial untuk menggantikan kedelai sebagai komoditas pangan. Popularitasnya yang tinggi menjadikan kacang hijau sebagai salah satu jenis kacang-kacangan yang paling diminati oleh masyarakat di Indonesia [2].

Otomatisasi proses penyiraman pada bibit tanaman taoge dapat dilakukan dengan memanfaatkan perkembangan teknologi komputer, khususnya melalui penerapan mikrokontroler. Mikrokontroler berfungsi sebagai sistem kendali yang dapat diprogram untuk mengatur jalannya penyiraman secara terstruktur dan efisien. Dengan penggunaan mikrokontroler, aktivitas penyiraman dapat dilaksanakan secara tepat waktu, teratur, dan disesuaikan dengan setiap tahap pertumbuhan, mulai dari fase benih hingga tanaman mencapai kedewasaan [3].

Perubahan temperatur yang tidak menentu pada negara Indonesia yang beriklim tropis dapat mempengaruhi kualitas taoge yang kita semai. Temperatur yang tinggi melebihi batas temperatur persemaian taoge dapat membuat taoge yang memiliki kualitas yang tidak baik bahkan taoge bisa jadi layu dan mati. Perkecambahan dapat terjadi dalam rentang suhu dan kelembaban relatif yang luas, yaitu antara 22–34 °C dan 88,5–100%. Namun, pada tingkat kelembaban relatif yang rendah, rata-rata jumlah konidia yang mampu berkecambah menurun secara signifikan. Kondisi optimum untuk perkecambahan dicapai pada suhu 26 °C dengan kelembaban relatif sebesar 99–100%. Panjang maksimum tabung kecambah, yakni 133,64 mm, tercatat pada suhu 26 °C dan kelembaban relatif 100%, diikuti oleh panjang 116,5 mm pada

suhu 22 °C. Sebaliknya, peningkatan suhu disertai penurunan kelembaban relatif cenderung mengakibatkan pemendekan panjang tabung kecambah [4].

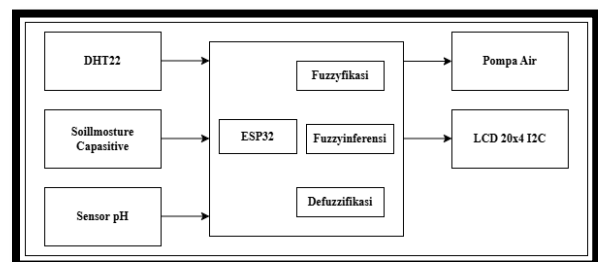
Metode *Fuzzy Mamdani* dikenal memiliki fleksibilitas yang tinggi serta toleransi yang baik terhadap variasi data. Keunggulannya terletak pada sifatnya yang intuitif, mudah dipahami, dan telah banyak diterima serta diterapkan di berbagai bidang. Berdasarkan prinsip logika *Fuzzy*, penelitian ini mengembangkan suatu model berbasis *Fuzzy Mamdani* untuk menganalisis proses produksi mebel [5].

Metode ini dimanfaatkan oleh peneliti dalam pengambilan keputusan terkait produksi mebel dengan mempertimbangkan faktor permintaan dan persediaan, sehingga dapat diperoleh hasil produksi yang optimal. Logika *Fuzzy* digunakan untuk mengolah data dan informasi yang bersifat tidak pasti atau ambigu, seperti pada pengambilan keputusan yang bergantung pada data cuaca yang kurang akurat atau tidak menentu. Penerapan metode ini memungkinkan sistem untuk memperhitungkan tingkat kepastian dalam menentukan waktu yang tepat untuk membuka atau menutup payung sesuai dengan kondisi cuaca yang terjadi [6].

II. METODOLOGI

Penelitian ini berisi paparan tentang tahapan-tahapan atau langkah-langkah yang digunakan untuk menyelesaikan masalah atau menggambarkan solusi yang ditawarkan untuk mengatasi permasalahan yang ada termasuk alat, bahan dan atau turunan rumus yang digunakan.

A. Diagram blok sistem



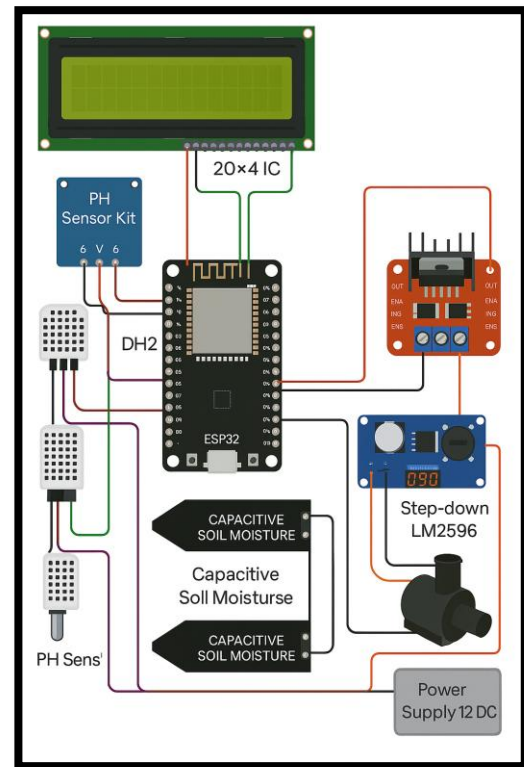
Gambar 1. Diagram blok sistem

Berdasarkan gambar 1, berikut adalah penjelasan setiap komponen:

1. Sensor DHT22, Jenis sensor ini sering menjadi pilihan karena mampu menghasilkan keluaran dalam bentuk digital, sehingga tidak lagi memerlukan proses konversi dari sinyal analog ke digital [7].
2. Sensor *Soil Moisture Capacitive*, Sensor kelembaban tanah kapasitif memanfaatkan kontras dielektrik antara air dan tanah, di mana tanah kering memiliki permitivitas relatif antara 2-6 dan air memiliki nilai sekitar 80 [8].
3. Sensor pH meter merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur konsentrasi ion hidrogen (H^+) dalam suatu larutan. Nilai pH sebesar 7 menunjukkan kondisi netral. Jika nilai pH berada di bawah 7, maka larutan tersebut bersifat asam, sedangkan nilai pH di atas 7 mengindikasikan bahwa larutan bersifat basa [9].
4. ESP32 merupakan modul mikrokontroler yang dilengkapi dengan fitur *Wi-Fi*, memungkinkan perangkat untuk terhubung dengan jaringan internet. Modul ini juga memiliki port *Micro USB* yang berfungsi sebagai jalur untuk suplai daya sekaligus media pemrograman. ESP32 beroperasi pada tegangan catu daya sebesar 3,3V dan mendukung berbagai mode koneksi *Wi-Fi*, seperti *Access Point*, *Station*, maupun kombinasi keduanya (*Both*). Secara umum, modul ini terdiri atas beberapa komponen utama, termasuk prosesor, memori, serta sejumlah pin *input/output* [9].
5. *Fuzzyfikasi*, proses mengubah nilai masukan (*crisp*).
6. *Fuzzyinferensi*, proses penalaran dalam logika *Fuzzy*.
7. *Defuzzifikasi*, proses mengubah *output* berbentuk *Fuzzy*.
8. Pompa Air, berfungsi sebagai *actuator output* sebagai media penyiraman otomatis.
9. LCD (*Liquid Crystal Display*) merupakan lapisan yang terdiri dari campuran material organik yang ditempatkan di antara dua lapisan kaca bening, di mana salah satunya dilapisi elektroda transparan berbahan indium oksida,

biasanya dalam bentuk tampilan *seven-segment*. Selain itu, terdapat juga lapisan elektroda pada bagian kaca belakang. Ketika elektroda diberi tegangan listrik, molekul-molekul organik yang berbentuk silindris dan memanjang akan menyesuaikan orientasinya sesuai dengan medan listrik yang dihasilkan oleh elektroda pada segmen tertentu [10].

B. Komponen alat keseluruhan



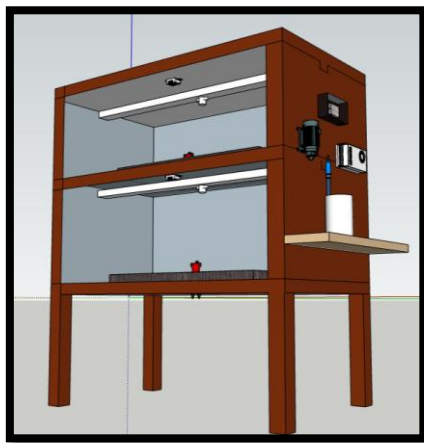
Gambar 2. Komponen alat keseluruhan

Gambar 2 menampilkan rancangan rangkaian sistem pemantauan otomatis yang menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler utama untuk mengelola seluruh proses kerja. Sistem ini dilengkapi dengan dua sensor *soil moisture* kapasitif yang berfungsi mengukur kelembapan media tanam *rockwool*, dua sensor DHT22 untuk memantau suhu dan kelembapan udara, serta satu sensor pH yang digunakan untuk mengetahui tingkat keasaman larutan nutrisi *MIX AB*.

Data yang diperoleh dari seluruh sensor diproses oleh ESP32, kemudian digunakan untuk mengendalikan aktuator berupa pompa air secara otomatis melalui motor driver L298N. Untuk

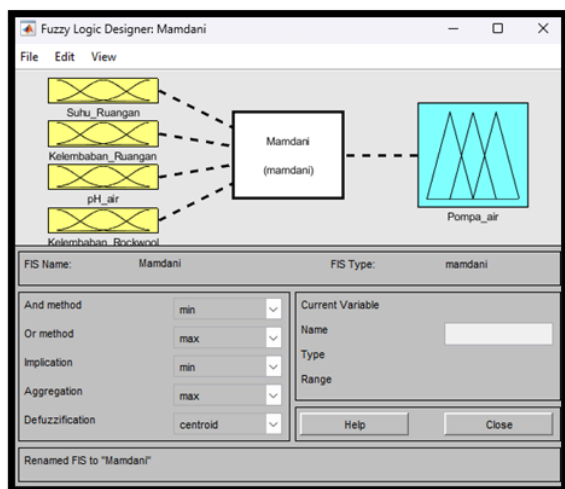
menampilkan data pemantauan seperti suhu, kelembapan, pH, dan status pompa, digunakan LCD 20x4 berbasis I2C yang memberikan tampilan informasi secara *real-time* dan memudahkan pengguna dalam melakukan pengawasan. Sistem ini menggunakan catu daya 12 V DC sebagai sumber utama, dan untuk menyesuaikan tegangan pada komponen tertentu, ditambahkan modul *step-down* LM2596 agar tegangan dapat diturunkan sesuai kebutuhan masing-masing perangkat.

C. Desain mekanik



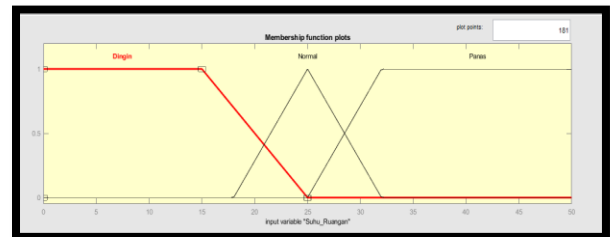
Gambar 3. Desain mekanik

Gambar 3 menunjukkan desain mekanik dari sistem otomasi dan *monitoring* kondisi ideal ruangan untuk tumbuh kacang hijau kecambah dengan metode *Fuzzy logic*. yang baru saja saya rancang menggunakan aplikasi *SketchUp*.



Gambar 4. Member function input dan output

Gambar 4, fungsi keanggotaan *Fuzzy* telah ditetapkan menunjukkan dua variabel *input* yaitu suhu dan kelembapan ruangan, pH air, kelembapan media *rockwool*, dan satu variabel *output* yaitu pompa air. Fungsi keanggotaan *Fuzzy* dibuat dengan menggunakan *Fuzzy logic toolbox matlab* yang sesuai seperti "Dingin", "Hangat", dan "Panas" untuk suhu ruangan, dan "Kering", "Lembab", dan "Basah" untuk kelembapan ruangan, "Asam", "Ideal" dan "Basa". pH air dan "Dry", "Moist", "Wet" untuk kelembapan media *rockwool*. Setiap fungsi keanggotaan menggunakan kombinasi bentuk segitiga dan trapesium untuk mewakili berbagai tingkat keanggotaan. Berikut adalah *input* fungsi keanggotaan *Fuzzy* yang digunakan dalam sistem ini:



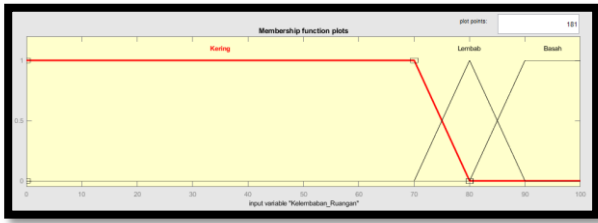
Gambar 5. Input suhu ruangan

Gambar 5 menunjukkan *domain range* dari *member function input* suhu ruangan sebagai batasan nilai yang akan digunakan pada *mikrokontroller* untuk mengambil keputusan dari hasil pembacaan sensor DHT22 untuk *input* suhu ruangan. *Domain range input* suhu ruangan.

Tabel 1. Himpunan *range input* suhu ruangan

No	Himpunan	Range
1	Dingin	0-25°C
2	Normal	25-32°C
3	Panas	32-50°C

Tabel 1 menjelaskan pembagian kategori suhu ruangan menjadi tiga kelompok, yaitu Dingin (0–25 °C), Normal (25–31 °C), dan Panas (32–50 °C), yang digunakan untuk mempermudah pemantauan serta pengendalian suhu dalam sistem otomatisasi ruangan.



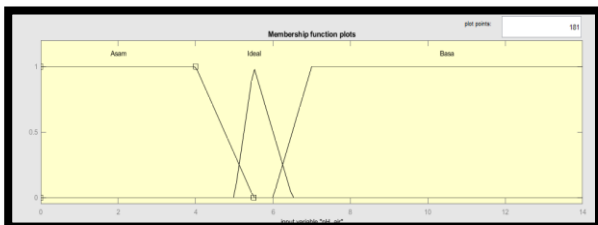
Gambar 6. Input kelembaban ruangan

Gambar 6 menunjukkan *domain range* dari *member function input* kelembaban ruangan sebagai batasan nilai yang akan digunakan pada *mikrokontroller* untuk mengambil keputusan dari hasil pembacaan sensor DHT22 untuk *input* kelembaban ruangan. *Domain range input* kelembaban ruangan.

Tabel 2. Himpunan *range input* kelembaban ruangan

No	Himpunan	Range
1	Kering	0-70%
2	Lembab	70-80%
3	Basah	80-100%

Tabel 2 menjelaskan pembagian tingkat kelembapan ruangan menjadi tiga kategori, yaitu Kering (0–70%), Lembab (70–80%), dan Basah (80–100%), yang berfungsi untuk mempermudah pemantauan dan pengendalian kelembapan udara di dalam ruangan.



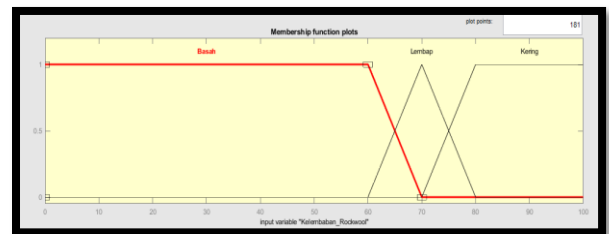
Gambar 7. Input pH air

Gambar 7 menunjukkan *domain range* dari *member function input* pH air sebagai batasan nilai yang akan digunakan pada *mikrokontroller* untuk mengambil keputusan dari hasil pembacaan sensor pH *dfrobot* untuk *input* pH air. *Domain range input* pH air nutrisi.

Tabel 3. Himpunan *range input* pH air

No	Himpunan	Range
1	Asam	0-5.4
2	Ideal	5.5-6.5
3	Basa	6.6-14

Tabel 3 menjelaskan pembagian kategori tingkat nilai pH air menjadi tiga kategori, yaitu Asam (0–5,4), Ideal (5,5–6,5), dan Basa (6,6–14).



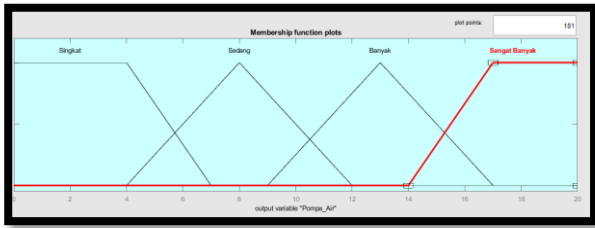
Gambar 8. Input kelembaban rockwool

Gambar 8 menunjukkan *domain range* dari *member function input* kelembaban media tanam sebagai batasan nilai yang akan digunakan pada *mikrokontroller* untuk mengambil keputusan dari hasil pembacaan sensor *capasitive soilmostire* untuk *input* kelembaban media tanam.

Tabel 4. Himpunan *range input* kelembaban rockwool

No	Himpunan	Range
1	Dry	0-70%
2	Moist	70-80%
3	Wet	80-100%

Tabel 4 menjelaskan kategori tingkat kelembapan media *rockwool*. Rentang nilai kelembapan dibagi menjadi tiga kategori, yaitu *Dry* (0–69%), *Moist* (70–80%), dan *Wet* (80–100%) untuk mempermudah pemantauan kondisi media tanam.



Gambar 9. Output pompa air

Gambar 9 menunjukkan *domain range* dari *member function output* pompa air sebagai batasan nilai yang akan digunakan pada *mikrokontroller* untuk mengambil keputusan dari hasil pembacaan pompa air untuk penyiraman otomatis.

Tabel 5. Himpunan *range output* pompa air

No	Himpunan	Range
1	Singkat	0 - 7 detik
2	Sedang	4 - 12 detik
3	Banyak	9 - 17 detik
4	Sangat Banyak	14 - 20 detik

Tabel 5 menjelaskan kategori durasi *output* pompa air berdasarkan durasi penyalan. Variabel ini dibagi menjadi empat tingkatan, yaitu Singkat (0–7 detik), Sedang (4–12 detik), Banyak (9–17 detik), dan Sangat Banyak (14–20 detik).

Ketika nilai *input* dan *output Fuzzy* telah ditentukan, tahap selanjutnya adalah membuat *rule base*. Berikut adalah *rule base* dari sistem:

Tabel 6. Rules base 16 Fuzzy Logic Mamdani

No	Suhu Ruang	Kelembaban Ruang	pH Air	Kelembaban Rockwool	Durasi Pompa (detik)
1	Dingin	Kering	Asam	Dry	13
2	Dingin	Kering	Ideal	Dry	18
3	Dingin	Lembab	Ideal	Moist	8
4	Dingin	Basah	Ideal	Wet	3
5	Normal	Kering	Ideal	Dry	18
6	Normal	Lembab	Ideal	Moist	8
7	Normal	Basah	Ideal	Wet	3
8	Panas	Kering	Ideal	Dry	18
9	Panas	Kering	Basa	Dry	13

10	Panas	Lembab	Ideal	Moist	8
11	Panas	Basah	Ideal	Wet	3
12	Panas	Basah	Basa	Wet	3
13	Normal	Lembab	Asam	Moist	8
14	Normal	Kering	Asam	Dry	13
15	Dingin	Basah	Ideal	Dry	13
16	Panas	Kering	Asam	Dry	18

Tabel 6 merangkum 16 aturan logika *Fuzzy* mamdani yang mengatur durasi kerja pompa air berdasarkan kombinasi empat parameter suhu ruangan, kelembapan udara, pH air, dan kelembapan media tanam *rockwool*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memuat hasil penelitian dan analisis data untuk setiap bagian yang telah diuji.

Untuk mencari nilai rata-rata dari hasil pengukuran digunakan rumus sesuai persamaan [11].

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

Untuk mencari nilai *error realtif* dari hasil pengukuran digunakan rumus sesuai persamaan [11].

$$KR = \left| \frac{y_n - x_n}{y_n} \right| \quad (2)$$

Pengujian sensor pH *dfrobot* dilakukan mengetahui kinerja dan akurasi dalam mengukur pH air. Pada pengujian ini, pembacaan pH dari sensor dibandingkan dengan pembacaan menggunakan pH meter, dan hasilnya di tampilkan tabel 7.

Tabel 7. Pengujian sensor pH larutan A

Hasil Percobaan	Sensor pH air Module	pH meter	Error (%)
Percobaan 1	6.02	5.98	0.67
Percobaan 2	6.04	5.98	1.00
Percobaan 3	6.11	5.98	2.17
Percobaan 4	6.12	5.98	2.34
Percobaan 5	6.19	5.98	3.51
Error rata – rata 1.94			

$$\begin{aligned} \text{Error Realtif} &= \left(\frac{\text{Nilai Sensor} - \text{Nilai Akurat}}{\text{Nilai Akurat}} \right) \\ &\times 100\% \\ \text{Percobaan 1} &= \left(\frac{6.02 - 5.98}{5.98} \right) \times 100\% \\ &= 0.67\% \\ \text{Percobaan 2} &= \left(\frac{6.04 - 5.98}{5.98} \right) \times 100\% \\ &= 1.00\% \\ \text{Percobaan 3} &= \left(\frac{6.11 - 5.98}{5.98} \right) \times 100\% \\ &= 2.17\% \\ \text{Percobaan 4} &= \left(\frac{6.12 - 5.98}{5.98} \right) \times 100\% \\ &= 2.34\% \\ \text{Percobaan 5} &= \left(\frac{6.19 - 5.98}{5.98} \right) \times 100\% \\ &= 3.51\% \\ \text{Rata - rata} &= \left(\frac{\text{Jumlah Nilai Error}}{\text{Jumlah Sensor}} \right) \\ \text{Rata - rata} &= \left(\frac{0.67 + 1.00 + 2.17 + 2.34 + 3.51}{5} \right) \\ &= 1.94\% \end{aligned}$$

Tabel 7 menyajikan hasil pengujian nilai pH larutan A dengan membandingkan pembacaan sensor pH air module terhadap pH meter laboratorium sebagai alat ukur referensi. Pengujian dilakukan sebanyak lima kali untuk menilai akurasi sensor dalam mendeteksi nilai pH mendekati netral.

Hasil pengukuran pH standar menggunakan pH meter tercatat stabil pada 5,98. Sementara itu, pembacaan sensor pH air module bervariasi antara 6,02 hingga 6,19. Perhitungan *error relatif* menunjukkan nilai *error* terendah sebesar 0,67% pada percobaan pertama, dan nilai *error* tertinggi 3,51% pada percobaan kelima. Secara keseluruhan, rata-rata *error relatif* sebesar 1,94%.

Tabel 8. Pengujian sensor pH larutan B

Hasil Percobaan	Sensor pH air Module	pH meter	Error (%)
Percobaan 1	6.02	5.98	0.67
Percobaan 2	6.04	5.98	1.00
Percobaan 3	6.11	5.98	2.17
Percobaan 4	6.12	5.98	2.34
Percobaan 5	6.19	5.98	3.51
Error rata - rata 1.94			

$$\begin{aligned} \text{Error Realtif} &= \left(\frac{\text{Nilai Sensor} - \text{Nilai Akurat}}{\text{Nilai Akurat}} \right) \\ &\times 100\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Percobaan 1} &= \left(\frac{2.91 - 3.17}{3.17} \right) \times 100\% \\ &= 8.20\% \\ \text{Percobaan 2} &= \left(\frac{2.90 - 3.17}{3.17} \right) \times 100\% \\ &= 8.51\% \\ \text{Percobaan 3} &= \left(\frac{2.92 - 3.17}{3.17} \right) \times 100\% \\ &= 7.89\% \\ \text{Percobaan 4} &= \left(\frac{2.91 - 3.17}{3.17} \right) \times 100\% \\ &= 8.20\% \\ \text{Percobaan 5} &= \left(\frac{2.91 - 3.17}{3.17} \right) \times 100\% \\ &= 8.20\% \\ \text{Rata - rata} &= \left(\frac{\text{Jumlah Nilai Error}}{\text{Jumlah Sensor}} \right) \\ \text{Rata - rata} &= \left(\frac{8.20 + 8.51 + 7.89 + 8.120 + 8.20}{5} \right) \\ &= 8.20\% \end{aligned}$$

Tabel 8 menampilkan hasil pengujian nilai pH larutan B dengan membandingkan pembacaan sensor pH air module terhadap alat ukur standar berupa pH meter laboratorium. Pengujian dilakukan sebanyak lima kali untuk memastikan akurasi sensor.

Berdasarkan hasil pengukuran, nilai pH standar dari pH meter tercatat sebesar 3,17, sedangkan pembacaan sensor pH air module berkisar antara 2,90 hingga 2,92. Nilai *error relatif* dihitung untuk mengetahui deviasi sensor terhadap alat ukur standar, dengan nilai *error* tertinggi tercatat sebesar 8,51% pada percobaan kedua, dan *error* terendah 7,89% pada percobaan ketiga. Secara keseluruhan, rata-rata *error relatif* dari pengujian ini adalah 8,20%.

Tabel 9. Pengujian sensor DHT22 suhu ruangan

Hasil Percobaan	Sensor DHT22 (°C)	Hygrometer (°C)	Error (%)
Percobaan 1	26.1	26.3	0.76%
Percobaan 2	26.2	26.3	0.38%
Percobaan 3	26.3	26.3	0.00%
Percobaan 4	25.9	26.3	1.52%
Percobaan 5	25.8	26.3	1.90%
Error rata - rata 0.91			

$$\begin{aligned} \text{Error Realtif} &= \left(\frac{\text{Nilai Sensor} - \text{Nilai Akurat}}{\text{Nilai Akurat}} \right) \\ &\times 100\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Percobaan 1} &= \left(\frac{26.1 - 26.3}{26.3} \right) \times 100\% \\
 &= 0.76\% \\
 \text{Percobaan 2} &= \left(\frac{26.2 - 26.3}{26.3} \right) \times 100\% \\
 &= 0.39\% \\
 \text{Percobaan 3} &= \left(\frac{26.3 - 26.3}{26.3} \right) \times 100\% \\
 &= 0.00\% \\
 \text{Percobaan 4} &= \left(\frac{25.9 - 26.3}{26.3} \right) \times 100\% \\
 &= 1.52\% \\
 \text{Percobaan 5} &= \left(\frac{25.8 - 26.3}{26.3} \right) \times 100\% \\
 &= 1.90\% \\
 \text{Rata - rata} &= \left(\frac{\text{Jumlah Nilai Error}}{\text{Jumlah Sensor}} \right) \\
 \text{Rata - rata} &= \left(\frac{0.76 + 0.38 + 0.00 + 1.52 + 1.90}{5} \right) \\
 &= 0.91\%
 \end{aligned}$$

Tabel 9 ini menampilkan hasil pengujian suhu ruangan di bagian atas menggunakan sensor DHT22, dengan perbandingan terhadap alat *hygrometer* digital yang memiliki fungsi sebagai acuan standar. Pengujian dilakukan sebanyak lima kali untuk memastikan tingkat akurasi sensor.

Hasil pengukuran suhu oleh *hygrometer* tercatat stabil di 26,3 °C. Sementara itu, pembacaan sensor DHT22 berkisar antara 25,8 °C hingga 26,3 °C. Nilai *error relatif* kemudian dihitung untuk melihat seberapa besar deviasi pengukuran sensor terhadap nilai standar. Nilai error tertinggi terjadi pada percobaan kelima sebesar 1,90%, sedangkan *error* terendah 0% pada percobaan ketiga. Secara keseluruhan, rata-rata *error relatif* dari lima kali pengukuran adalah sebesar 0,91%.

Tabel 10. Pengujian sensor DHT22 kelembaban ruangan

Hasil Percobaan	Sensor DHT22 (°C)	Hygrometer (°C)	Error (%)
Percobaan 1	79%	81%	2.47%
Percobaan 2	80%	81%	1.23%
Percobaan 3	81%	81%	0.00%
Percobaan 4	82%	81%	1.23%
Percobaan 5	83%	81%	2.47%
Error rata – rata 1.48%			

$$\begin{aligned}
 \text{Error Relatif} &= \left(\frac{\text{Nilai Sensor} - \text{Nilai Akurat}}{\text{Nilai Akurat}} \right) \\
 &\times 100\% \\
 \text{Percobaan 1} &= \left(\frac{79\% - 81\%}{81\%} \right) \times 100\% \\
 &= 2.47\% \\
 \text{Percobaan 2} &= \left(\frac{80\% - 81\%}{81\%} \right) \times 100\% \\
 &= 1.23\% \\
 \text{Percobaan 3} &= \left(\frac{81\% - 81\%}{81\%} \right) \times 100\% \\
 &= 0.00\% \\
 \text{Percobaan 4} &= \left(\frac{82\% - 81\%}{81\%} \right) \times 100\% \\
 &= 1.23\% \\
 \text{Percobaan 5} &= \left(\frac{83\% - 81\%}{81\%} \right) \times 100\% \\
 &= 2.47\% \\
 \text{Rata - rata} &= \left(\frac{\text{Jumlah Nilai Error}}{\text{Jumlah Sensor}} \right) \\
 \text{Rata - rata} &= \left(\frac{2.47 + 1.23 + 0.00 + 1.23 + 2.47}{5} \right) \\
 &= 1.48\%
 \end{aligned}$$

Tabel 10 menampilkan hasil uji sensor kelembaban ruangan DHT22 dengan membandingkan pembacaannya terhadap alat standar berupa *hygrometer*. Pengujian dilakukan dalam lima percobaan, untuk memverifikasi tingkat akurasi sensor DHT22 dalam kondisi kelembaban tinggi di ruangan.

Pada percobaan ke-1 hingga ke-5, nilai kelembaban yang terbaca oleh sensor DHT22 berkisar antara 79% hingga 83%, sedangkan *hygrometer* referensi menunjukkan nilai kelembaban tetap di sekitar 81%. Selisih hasil pengukuran kemudian dihitung dalam bentuk *error* relatif terhadap nilai standar *hygrometer*. Nilai *error* relatif tertinggi tercatat sebesar 2,47% pada percobaan ke-1 dan ke-5, sedangkan nilai *error* terendah mencapai 0% pada percobaan ke-3. Secara keseluruhan, rata-rata *error* relatif yang dihasilkan adalah sebesar 1,48%.

Tabel 11. Pengujian sensor *Soilmoisture Capacitive*

Sensor <i>Soilmoisture Capacitive</i>	Nilai %	Status
Percobaan 1	25 %	Kering
Percobaan 2	30 %	Kering
Percobaan 3	35 %	Kering

Sensor <i>Soilmoisture Capacitive</i>	Nilai %	Status
Percobaan 4	45 %	Kering
Percobaan 5	60 %	Kering
Percobaan 6	77 %	Lembab
Percobaan 7	80 %	Lembab
Percobaan 8	82 %	Lembab
Percobaan 9	83 %	Lembab
Percobaan 10	85 %	Lembab
Percobaan 11	87 %	Basah
Percobaan 12	90 %	Basah
Percobaan 13	95 %	Basah
Percobaan 14	98 %	Basah
Percobaan 15	100 %	Basah

Tabel 11 hasil pengujian yang dilakukan sebanyak 15 kali percobaan, sensor *Soilmoisture Capacitive* mampu mendeteksi variasi kadar air dengan baik, mulai dari kondisi kering hingga basah.

Sensor memberikan hasil pembacaan yang konsisten, di mana rentang nilai di bawah 60% secara akurat teridentifikasi sebagai kondisi kering, rentang 60%–85% sebagai kondisi lembab, dan di atas 85% sebagai kondisi basah.

Hal ini menunjukkan bahwa sensor memiliki sensitivitas yang cukup baik dalam membedakan tingkat kelembapan tanah, sehingga layak digunakan dalam aplikasi *monitoring* kelembapan media tanam secara otomatis.



Gambar 10. Pengujian keseluruhan

Gambar 10 adalah pengujian ini digunakan untuk memverifikasi bahwa sistem *Fuzzy* mampu memberikan *output* yang sesuai dengan aturan yang

telah dirancang, dan berfungsi dengan baik dalam mengendalikan durasi pompa air untuk menjaga kondisi ruang yang ideal bagi pertumbuhan kecambah kacang hijau.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi secara konsisten dan akurat dalam berbagai kondisi lingkungan, sehingga memastikan efisiensi dan efektivitas dalam proses penyiraman otomatis.

A. Hasil analisa pertumbuhan batang kecambah kacang hijau ruang atas

$$\begin{aligned} \text{Rumus} &= \text{Hari} \\ &= \left(\frac{\text{Batang 1} + \text{Batang 2} + \text{Batang 3} \dots}{\text{Jumlah Biji Kacang Hijau}} \right) \\ &= \text{Rata - rata (cm)} \end{aligned}$$

$$\text{Hari ke 0} = \left(\frac{0}{21} \right) = 0.00 \text{ cm}$$

$$\text{Hari ke 1} = \left(\frac{19.8}{21} \right) = 0.94 \text{ cm}$$

$$\text{Hari ke 2} = \left(\frac{26.7}{21} \right) = 1.27 \text{ cm}$$

$$\text{Hari ke 3} = \left(\frac{45.2}{21} \right) = 2.15 \text{ cm}$$

$$\text{Hari ke 4} = \left(\frac{60.9}{21} \right) = 2.90 \text{ cm}$$

$$\text{Hari ke 5} = \left(\frac{74.2}{21} \right) = 3.53 \text{ cm}$$

Berdasarkan hasil pengamatan selama lima hari terhadap 21 biji kacang hijau, terlihat bahwa pertumbuhan batang kecambah berlangsung secara bertahap dan konsisten. Pada hari pertama hari ke-0, belum terjadi pertumbuhan dengan rata-rata tinggi batang 0,00 cm. Memasuki hari ke-1, mulai tampak adanya pertumbuhan dengan rata-rata tinggi mencapai 0,94 cm.

Pertumbuhan ini terus meningkat pada hari-hari berikutnya, dengan rata-rata mencapai 1,27 cm di hari ke-2 dan 2,15 cm di hari ke-3. Perkembangan batang kecambah semakin terlihat jelas di hari ke-4 dengan rata-rata 2,90 cm, dan mencapai puncaknya pada hari ke-5 dengan rata-rata tinggi mencapai 3,53 cm. Hasil ini menunjukkan bahwa dalam kondisi lingkungan yang mendukung, batang kecambah kacang hijau dapat tumbuh dengan stabil.

B. Hasil analisa pertumbuhan batang kecambah hijau ruang bawah

$$\begin{aligned}\text{Rumus} &= \text{Hari} \\ &= \left(\frac{\text{Batang 1} + \text{Batang 2} + \text{Batang 3} \dots}{\text{Jumlah Biji Kacang Hijau}} \right) \\ &= \text{Rata - rata (cm)} \\ \text{Hari ke 0} &= \left(\frac{0}{21} \right) = 0.00 \text{ cm} \\ \text{Hari ke 1} &= \left(\frac{9.9}{21} \right) = 0.40 \text{ cm} \\ \text{Hari ke 2} &= \left(\frac{22.7}{21} \right) = 1.08 \text{ cm} \\ \text{Hari ke 3} &= \left(\frac{32.1}{21} \right) = 1.54 \text{ cm} \\ \text{Hari ke 4} &= \left(\frac{44.2}{21} \right) = 2.11 \text{ cm} \\ \text{Hari ke 5} &= \left(\frac{58.6}{21} \right) = 2.79 \text{ cm}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisa pertumbuhan batang kecambah kacang hijau yang diletakkan di ruang bawah selama lima hari, terlihat adanya peningkatan pertumbuhan secara bertahap dari hari ke hari. Pada hari ke-0 belum terjadi pertumbuhan dengan rata-rata 0,00 cm.

Memasuki hari ke-1, rata-rata pertumbuhan mencapai 0,40 cm dan terus meningkat menjadi 1,08 cm di hari ke-2. Pada hari ke-3, pertumbuhan bertambah menjadi 1,54 cm, kemudian naik lagi menjadi 2,11 cm di hari ke-4, dan mencapai 2,79 cm di hari ke-5. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun ditempatkan di ruang bawah dengan pompa air yang lebih terbatas dibandingkan ruang atas, kecambah tetap mengalami pertumbuhan yang konsisten, meskipun cenderung lebih lambat dibandingkan dengan ruang atas.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, parameter lingkungan sebagai *input* suhu ruangan, kelembapan udara, pH air, dan kelembapan media *rockwool* dan *output* pompa air menjadi memegang peran krusial terhadap pertumbuhan kecambah kacang hijau dengan kondisi optimal tercapai pada suhu 25–31 °C, kelembapan udara 70–80 %, pH air 5,5–6,5, dan kelembapan *rockwool* 60–80 %, sedangkan nilai di luar rentang tersebut (suhu < 25 °C atau > 32 °C, kelembapan udara < 70 % atau

> 80 %, pH < 5,5 atau > 6,5, serta kelembapan media < 60 % atau > 80 %) menyebabkan laju pertumbuhan melambat untuk menjaga kondisi ideal tersebut, sistem otomatisasi menggunakan pompa air disesuaikan dengan parameter *input* sehingga proses penyiraman menggunakan pompa air dan larutan *MIX AB* untuk airnya maka pertumbuhan kecambah menjadi optimal.

Berdasarkan pengujian alat keseluruhan masih banyak kekurangan yang telah di uji coba. Untuk pertumbuhan kecambah kacang hijau jika mencari kualitas kecambah bisa di tambahkan beberapa *output* sebagai pendukung kecambah agar lebih optimal. Contohnya jika suhu dingin maka *output* seperti *heater* akan menyala untuk sekian detik, dan jika suhu panas maka *output* seperti kipas angin menyala sekian detik untuk mendinginkan ruangan secara keseluruhan sistem sudah bekerja dengan baik dan optimal untuk sistem otomasi dan monitoring kondisi ruang ideal untuk pertumbuhan kecambah kacang hijau berbasis *Fuzzy logic*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah memberikan arahan, jurnal *Metrotech* sebagai referensi ilmiah yang mendukung, serta teman-teman yang telah membantu dalam proses penelitian ini. Semoga hasil penelitian ini bermanfaat dan dapat dikembangkan lebih lanjut

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Na'illah Ega Sivana, Nathania Rahadatul 'Aisy, Nurul Mawaddah, Rahajeng Galuh Tribuana, Rifqi Ilham, and Ita Fitriyyah, "Uji Viabilitas dan Pertumbuhan Kecambah Kacang Hijau (*Vigna Radiata*) Selama 11 Hari," *Tumbuh. Publ. Ilmu Sociol. Pertan. Dan Ilmu Kehutan.*, vol. 2, no. 1, pp. 64–72, Dec. 2024, doi: 10.62951/tumbuhan.v2i1.196.
- [2] M. Wimudi dan Sadiyahatun Fuadiyah Jurusan Biologi, F. Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, U. Negeri Padang Jl Hamka Air Tawar Barat, K. Padang Utara Kota Padang, and S. Barat, "Pengaruh Cahaya Matahari Terhadap Pertumbuhan Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)," *Univ. Negeri Padang*, vol. 01, no.

- 2021, 2021, doi:
10.24036/prosemnasbio/vol1/72.
- [3] "04+Jurnal_INoMeT_Zulkifli+Amin_Final".
- [4] S. Balai Penelitian Tanaman Buah, J. Raya Solok-Aripan Km, and S. Barat, "Pengaruh Suhu dan Kelembaban Relatif terhadap Perkecambahan dan Perkembangan Tabung Kecambah Konidia *Cladosporium musae* Ma son."
- [5] Z. N. Jati, T. Hastono, and F. Andrian, "Prediksi Produksi Bawang Merah di Kota Yogyakarta menggunakan Metode *Fuzzy* Mamdani," vol. 2, no. 2, pp. 129–137, doi: 10.55606/jupikom.v3i1.
- [6] E. H. B. Renyaan, E. Sonalitha, and R. Arifuddin, "Prototype Perancangan Sistem Kontrol Buka Tutup Payung Kanopi Elektrik Otomatis dengan Pendeteksi Cuaca Menggunakan Metode *Fuzzy* Logic," *Blend Sains J. Tek.*, vol. 2, no. 4, pp. 303–308, Jun. 2024, doi: 10.56211/blendsains.v2i4.522.
- [7] A. H. Saptadi, "Perbandingan Akurasi Pengukuran Suhu dan Kelembaban Antara Sensor DHT11 dan DHT22 Studi Komparatif pada Platform ATMEL AVR dan Arduino," *J. Inform. dan Elektron.*, vol. 6, no. 2, 2015, doi: 10.20895/infotel.v6i2.73.
- [8] J. Hrisko, "Capacitive *Soil moisture* Sensor Theory, Calibration, and Testing," 2020.
- [9] K. S. Bu'u, N. Nachrowie, and E. Sonalitha, "Monitoring Kualitas Air pada Aquarium Berbasis Internet of Things (IoT)," *Blend Sains J. Tek.*, vol. 2, no. 2, pp. 184–190, Oct. 2023, doi: 10.56211/blendsains.v2i2.321.
- [10] B. S. WIBOWO, F. Z. Efendi, and A. G. Nugraheni, "Modification of an Arduino-Based Baby Temperature, Weight and Length Measuring Device," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 2, pp. 396–403, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i2.6225.
- [11] M. Asrori, W. Y. Rezika, A. T. A. Salim, B. Indarto, and R. T. Nudiansyah, "Kalibrasi Alat Ukur Temperatur dan Kelembapan Kereta Rel Diesel Elektrik," *J. Tek. Terap.*, vol. 1, no. 2, pp. 36–41, 2022, doi: 10.25047/jteta.v1i2.14.