

PENGEMBANGAN SISTEM *INTERNET OF THINGS (IOT)* DENGAN MIKROKONTROLER UNTUK MONITORING SUHU, KELEMBAPAN UDARA, DAN INTENSITAS CAHAYA DALAM BUDIDAYA MELON DI *GREENHOUSE*

^{1st}Tri Kasihitona
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
trikasihh@student.telkomuniversity.ac.id

^{2nd}Dr. Ir. Sony Sumaryo M.T.
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
sonysumaryo@telkomuniversity.ac.id

^{3rd}Ir. Yudiansyah Lubis
Business Process Management
PT. Len Industri (Persero)
Bandung, Indonesia
yudiansyah.lubis@len.co.id

Abstrak — Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring dan kontrol otomatis berbasis *Internet of Things (IoT)* menggunakan mikrokontroler ESP32 untuk optimasi kondisi lingkungan pada budidaya melon di dalam *greenhouse*. Sistem ini menggunakan sensor AHT10 untuk suhu dan kelembapan, dan sensor BH1750 untuk intensitas cahaya. Data sensor ditransmisikan secara real-time ke *Firestore Realtime Database* dan divisualisasikan melalui LCD serta antarmuka web.

Logika fuzzy Mamdani diimplementasikan untuk mengendalikan exhaust fan, pompa air, dan lampu grow light, menjaga suhu $25-30^{\circ}\text{C}$, kelembapan 60-70%, dan intensitas cahaya minimal 3000 lux. Pengujian menunjukkan rata-rata kesalahan pengukuran $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ untuk suhu, $\pm 2\%$ untuk kelembapan, dan ± 10 lux untuk intensitas cahaya. Transmisi data berhasil dengan tingkat keberhasilan 98% dan penundaan rata-rata 5 detik. Sistem ini efektif dalam menjaga kondisi optimal dan menyediakan akses jarak jauh, menawarkan potensi signifikan untuk meningkatkan efisiensi pertanian berbasis teknologi.

Kata kunci— *Internet of Things*, ESP32, fuzzy logic, *greenhouse*, AHT10, BH1750, *Firestore*, monitoring system..

I. PENDAHULUAN

Sektor pertanian Indonesia memiliki potensi besar, khususnya dalam budidaya melon (*Cucumis melo L.*) yang bernilai ekonomi tinggi. Pertumbuhan melon sangat bergantung pada kondisi lingkungan optimal, yaitu suhu $25-30^{\circ}\text{C}$, kelembapan relatif 60-70%, dan intensitas cahaya minimum 3000 lux. Namun, variabilitas cuaca yang tidak dapat diprediksi di Indonesia sering menghambat produktivitas maksimal[1]. *Greenhouse* menyediakan lingkungan terkontrol untuk pertumbuhan tanaman, memungkinkan pengaturan parameter lingkungan secara presisi. Pengelolaan manual cenderung tidak efisien. Teknologi pertanian presisi dengan *Internet of Things (IoT)*

menawarkan solusi monitoring real-time dan kontrol otomatis, meningkatkan produktivitas dan mengurangi biaya operasional[2]. Sistem IoT mengumpulkan data sensor, menganalisisnya, dan merespons melalui aktuator. Mikrokontroler, seperti ESP32, menjadi pusat pengolahan data, memungkinkan pengambilan keputusan cepat[3]. Fuzzy logic Mamdani efektif menangani ketidakpastian dalam sistem kontrol pertanian yang non-linear dan kompleks. Metode ini dapat mengambil keputusan berdasarkan input linguistik seperti "suhu tinggi" atau "cahaya kurang", memberikan kontrol yang fleksibel. Sensor BH1750 dipilih untuk intensitas cahaya karena akurasi tinggi (1-65535 lux), sementara AHT10 untuk suhu ($\pm 0.3^{\circ}\text{C}$) dan kelembapan ($\pm 2\%$ RH) karena akurasi, konsumsi daya rendah, dan stabilitas[4]. Keduanya menggunakan protokol I2C. Aktuator meliputi exhaust fan untuk sirkulasi udara, pompa air untuk irigasi, dan lampu grow light untuk suplementasi cahaya[5]. Pengembangan sistem IoT dengan fuzzy logic Mamdani ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi biaya operasional, dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya dalam budidaya melon. Sistem ini juga menyediakan data historis untuk analisis dan optimasi.

II. KAJIAN TEORI

A. Buah Melon

Melon (*Cucumis melo L.*) merupakan tanaman hortikultura bernilai ekonomi tinggi yang berasal dari daerah tropis dan subtropis. Tanaman ini membutuhkan kondisi lingkungan spesifik seperti suhu udara $25-30^{\circ}\text{C}$, kelembapan relatif 60-70%, dan intensitas cahaya minimal 3000 lux untuk pertumbuhan optimal. Budidaya dalam *greenhouse* dapat meningkatkan produktivitas melon hingga 40% dibandingkan metode konvensional [6].

B. Parameter Pemantauan Lingkungan *Greenhouse*

Pemantauan parameter lingkungan secara kontinu sangat penting untuk keberhasilan budidaya melon dalam *greenhouse*. Parameter utama yang dipantau meliputi suhu

udara (optimal 25-30°C siang, 20-25°C malam) , kelembapan udara (optimal 60-70%), dan intensitas cahaya (optimal 3000-5000 lux). Kontrol parameter ini penting untuk menghindari stres tanaman dan penyakit, serta mendukung fotosintesis[7].

C. Fuzzy Logic

Fuzzy logic, diperkenalkan oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965, adalah metode komputasi yang menangani informasi tidak pasti dengan nilai keanggotaan dalam rentang 0 hingga 1, berbeda dengan logika Boolean [8]. Proses fuzzifikasi mengubah input menjadi bentuk fuzzy menggunakan fungsi keanggotaan seperti segitiga dan trapesium. Metode fuzzy Mamdani (Ebrahim Mamdani, 1975) melibatkan empat tahapan utama: fuzzifikasi, penerapan fungsi implikasi (e.g., min), agregasi inferensi (e.g., max), dan defuzzifikasi (e.g., centroid) untuk menghasilkan nilai tegas [9].

D. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah konsep yang menghubungkan objek fisik dengan internet untuk pertukaran data dan komunikasi antar perangkat, memungkinkan pemantauan dan kontrol parameter lingkungan secara real-time dalam pertanian [10]. Arsitektur sistem IoT umumnya terdiri dari Perception Layer, Network Layer, Middleware Layer, dan Application Layer. Protokol komunikasi seperti WiFi, Bluetooth, LoRaWAN, dan MQTT dipilih berdasarkan kebutuhan aplikasi. Keunggulan IoT dalam pertanian modern meliputi monitoring real-time, optimasi sumber daya, peningkatan produktivitas, pencegahan hama, dokumentasi data historis, dan akses remote.

III. METODE

A. Gambaran Umum Sistem

Sistem ini merupakan pengembangan sistem Internet of Things (IoT) dengan mikrokontroler ESP32 yang dirancang untuk monitoring dan kontrol otomatis lingkungan dalam budidaya melon di greenhouse. Sistem ini mengintegrasikan sensor AHT10 untuk mengukur suhu dan kelembapan udara, serta sensor BH1750 untuk mengukur intensitas cahaya. Data dari sensor-sensor ini dikirimkan secara real-time ke Firebase Realtime Database dan divisualisasikan melalui sebuah LCD serta antarmuka web untuk pemantauan jarak jauh. Untuk kontrol otomatis, sistem ini mengimplementasikan logika fuzzy Mamdani yang berfungsi untuk mengendalikan tiga aktuator utama: exhaust fan, pompa air, dan lampu grow light. Kontrol ini bertujuan untuk menjaga kondisi pertumbuhan melon yang optimal, yaitu suhu antara 25-30°C, kelembapan 60-70%, dan intensitas cahaya minimal 3000 lux. Seluruh sistem dirancang sebagai prototipe greenhouse dan menggunakan protokol WiFi untuk konektivitas internet.

B. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras sistem IoT untuk monitoring greenhouse terdiri dari beberapa komponen utama yang dirancang untuk mendukung fungsi sistem. Komponen-komponen ini meliputi sensor BH1750 untuk mengukur intensitas cahaya, sensor AHT10 untuk membaca suhu dan kelembapan, serta aktuator seperti pompa air dan lampu yang digunakan untuk mengatur kondisi lingkungan. Desain alat ini berupa prototipe greenhouse yang dilengkapi

dengan dua lampu LED grow light, dua exhaust fan, serta water pump dan tiga buah mist nozzle untuk sistem irigasi dan pengkabutan. Semua komponen ini dikendalikan oleh mikrokontroler, seperti ESP32, yang dihubungkan ke sistem komunikasi dan aplikasi pemantauan pengguna untuk kontrol jarak jauh, memastikan integrasi yang efisien antara sensor, aktuator, dan unit pemrosesan.

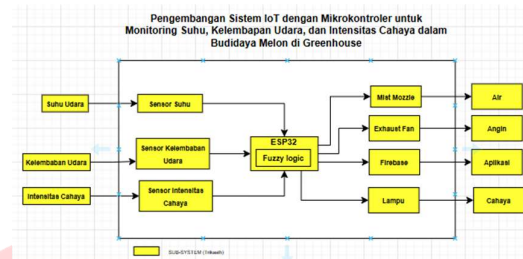


Figure 1 Diagram Blok Sistem

Table 1 Komponen

No	Komponen	Jenis/Type	Jumlah
1	Power Supply	12V 10A	1
2	Node MCU	ESP32	1
3	Sensor Suhu dan Kelembapan Udara	AHT10	1
4	Sensor Intensitas Cahaya	BH1750	1
5	Lampu	Grow Light 12V	2
6	Pompa Air	DC 12V	1
7	Fan	Exhaust fan 12V	2
8	Motor Driver	L298N	2
9	LCD	Green LCD 16x4	1

C. Flowchart Sistem

Flowchart ini menjelaskan alur kerja sistem otomatisasi rumah tanaman menggunakan logika fuzzy. Proses dimulai dari inialisasi sistem dan koneksi ke jaringan. Setelah tersambung, sistem membaca data dari sensor suhu, kelembapan, dan cahaya, lalu melakukan tiga tahap fuzzy: fuzzifikasi (mengubah data ke fuzzy), inferensi fuzzy (menentukan aturan), dan defuzzifikasi (menghasilkan nilai output). Berdasarkan hasil tersebut, jika suhu lebih dari 25°C maka kipas menyala, jika kelembapan kurang dari 75% maka pompa air menyala, dan jika intensitas cahaya kurang dari 2500 lux maka lampu menyala. Setiap aksi juga dikirim sebagai notifikasi ke aplikasi sebelum proses selesai.

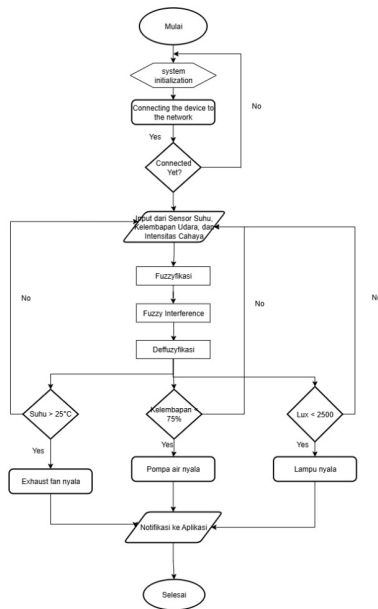


Figure 2 Flowchart Sistem

Dapat dilihat terdapat perbedaan antara hasil pengukuran dengan sensor dan hasil alat ukur. Nilai *error* dari sensor akan dihitung tiap 15 menit dan di rata-ratakan pada kondisi subuh. Dari hasil pengukuran di atas menggunakan sensor AHT10 pada waktu subuh yang dilakukan selama 5 jam dengan 10 kondisi yang berbeda didapatkan bahwa *error* rata-rata yang didapatkan adalah 0.66%.

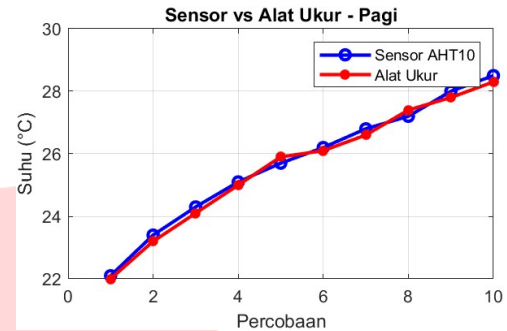


Figure 3 Grafik Sensor Vs Alat Ukur Pagi

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas hasil percobaan yang dilakukan untuk menguji kinerja Pengembangan Sistem Internet of Things (IoT) dengan Mikrokontroler untuk Monitoring Suhu, Kelembapan Udara, dan Intensitas Cahaya dalam Budidaya Melon di Greenhouse. Sistem ini menggunakan sensor AHT10 dan sensor BH1750 untuk memantau parameter lingkungan secara real-time. Percobaan ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mengoptimalkan kondisi lingkungan di greenhouse, khususnya dalam hal pemantauan suhu dan kelembapan udara, pengukuran intensitas cahaya, serta kontrol jarak jauh melalui platform IoT.

A. Pengujian Sensor Suhu AHT10

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi akurasi sensor suhu AHT10 dengan membandingkan hasil pembacaannya terhadap alat ukur sebagai alat referensi. Pengujian ini dilakukan di dalam ruangan dengan kondisi lingkungan yang stabil, guna mengetahui sejauh mana sensor AHT10 dapat memberikan data yang akurat dalam pemantauan suhu.

1. Pengujian Pagi Sensor AHT10

Table 2 Pengujian Pagi

No	Waktu	Sensor AHT10 (°C)	Alat Ukur (°C)	Selisih (°C)	Error (%)
1	07:15	22.1	22.0	0.1	0.45
2	07:30	23.4	23.2	0.2	0.86
3	08:00	24.3	24.1	0.2	0.83
4	08:15	25.1	25.0	0.1	0.40
5	08:45	25.7	25.9	0.2	0.77
6	09:00	26.2	26.1	0.1	0.38
7	09:20	26.8	26.6	0.2	0.75
8	09:45	27.2	27.4	0.2	0.73
9	10:00	28.0	27.8	0.2	0.72
10	10:15	28.5	28.3	0.2	0.71

2. Pengujian Siang Sensor AHT10

Table 3 Pengujian Siang

No	Waktu	Sensor AHT10 (°C)	Alat Ukur (°C)	Selisih (°C)	Error (%)
1	12:00	34.2	34.0	0.2	0.59
2	12:15	35.8	35.6	0.2	0.56
3	12:30	36.5	36.3	0.2	0.55
4	12:45	37.1	37.1	0.0	0.00
5	13:00	37.8	37.6	0.2	0.53
6	13:20	38.2	38.4	0.2	0.52
7	13:30	38.8	38.9	0.1	0.26
8	13:45	39.0	38.8	0.2	0.52
9	14:00	38.4	38.2	0.2	0.52
10	14:15	37.6	37.5	0.1	0.27

Dapat dilihat terdapat perbedaan antara hasil pengukuran dengan sensor dan hasil alat ukur. Nilai *error* dari sensor akan dihitung dan di rata-ratakan pada kondisi siang. Dari hasil pengukuran di atas menggunakan sensor AHT10 pada waktu pagi yang dilakukan selama 2 jam 15 menit dengan 10 kondisi yang berbeda didapatkan bahwa *error* rata-rata yang didapatkan adalah 0.43% dan akurasi yang didapat adalah 99.57%.

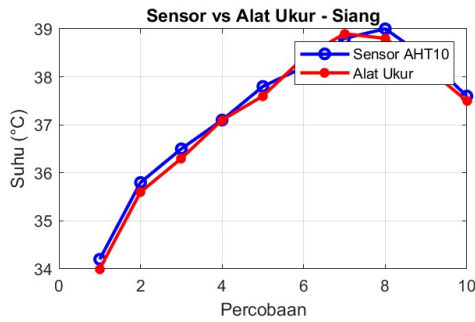


Figure 4 Grafik Sensor Vs Alat Ukur Siang

3. Pengujian Sore Sensor AHT10

Table 4 Pengujian Sore

No	Waktu	Sensor AHT10 (°C)	Alat Ukur (°C)	Selisih (°C)	Error (%)
1	16:00	31.8	31.6	0.2	0.63
2	16:15	32.1	32.3	0.2	0.62
3	16:30	31.4	31.2	0.2	0.64
4	16:45	30.8	30.6	0.2	0.65
5	17:00	30.1	30.0	0.1	0.33
6	17:20	29.4	29.5	0.1	0.34
7	17:30	28.9	28.8	0.1	0.35
8	17:45	28.2	28.0	0.2	0.71
9	18:00	27.5	27.6	0.1	0.36
10	18:30	26.8	26.9	0.1	0.37

Dapat dilihat terdapat perbedaan antara hasil pengukuran dengan sensor dan hasil alat ukur. Nilai *error* dari sensor akan dihitung dan di rata-ratakan pada kondisi siang. Dari hasil pengukuran di atas menggunakan sensor AHT10 pada waktu pagi yang dilakukan selama 2 jam 30 menit dengan 10 kondisi yang berbeda didapatkan bahwa *error* rata-rata yang didapatkan adalah 0.50% dan akurasi yang didapat adalah 99.50%.

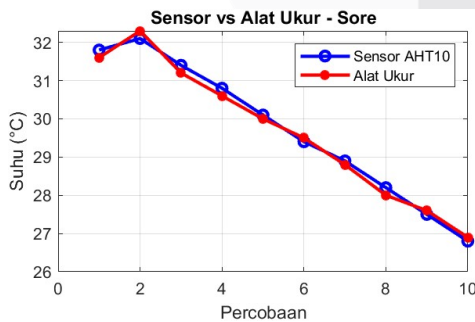


Figure 5 Grafik Sensor Vs Alat Ukur Sore

B. Pengujian Kelembapan Sensor AHT10

Pengujian dilakukan untuk membandingkan hasil pembacaan kelembapan udara antara sensor AHT10 dan hygrometer sebagai alat referensi. Data dikumpulkan dalam 12 pengukuran dengan nilai kelembapan yang bervariasi

antara 80% hingga 99%. Selisih antara kedua alat ini dianalisis untuk mengetahui tingkat akurasi sensor AHT10.

1. Pengujian Kelembapan Kering Sensor AHT10

Table 5 Pengujian Kelembapan Kering

No	Waktu	Sensor AHT10 (%)	Alat Ukur (%)	Selisih (%)	Error (%)
1	09:00	32.0	33.5	1.5	4.48
2	09:15	33.8	35.2	1.4	3.98
3	09:30	36.8	35.6	1.2	3.37
4	09:45	37.8	39.2	1.4	3.57
5	10:00	38.9	40.2	1.3	3.23
6	10:15	42.0	40.8	1.2	2.94
7	10:30	41.9	43.1	1.2	2.78
8	10:45	43.0	44.3	1.3	2.93
9	11:00	43.6	44.8	1.2	2.68
10	11:15	42.9	44.1	1.2	2.72

Dapat dilihat terdapat perbedaan antara hasil pengukuran dengan sensor dan hasil alat ukur. Nilai *error* dari sensor akan dihitung tiap 15 menit dan di rata-ratakan pada kondisi kering. Dari hasil pengukuran di atas menggunakan sensor AHT10 pada kelembapan rendah yang dilakukan selama 2 jam 15 menit dengan 10 kondisi yang berbeda didapatkan bahwa *error* rata-rata yang didapatkan adalah 3.27% dan akurasi yang di dapatkan adalah 96.73%.

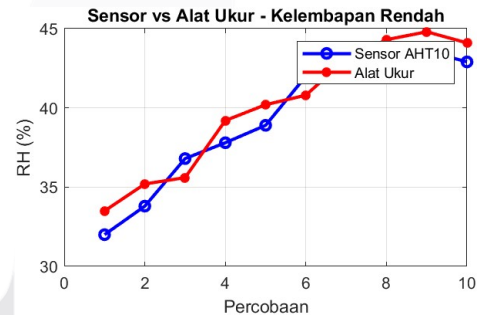


Figure 6 Grafik Sensor Vs Alat Ukur Kelembapan Rendah

2. Pengujian Kelembapan Normal Sensor AHT10

Table 6 Pengujian Kelembapan Normal

No	Waktu	Sensor AHT10 (%)	Alat Ukur (%)	Selisih (%)	Error (%)
1	14:00	56.0	57.2	1.2	2.10
2	14:15	58.7	59.9	1.2	2.0
3	14:30	60.8	62.2	1.4	2.25
4	14:45	62.4	63.6	1.2	1.89
5	15:00	64.5	65.8	1.3	1.98
6	15:15	66.0	67.0	1.0	1.49
7	15:30	67.2	68.5	1.3	1.90
8	15:45	69.1	70.4	1.3	1.85
9	16:00	71.5	72.8	1.3	1.79
10	16:15	73.9	75.2	1.3	1.73

Dapat dilihat terdapat perbedaan antara hasil pengukuran dengan sensor dan hasil alat ukur. Nilai

error dari sensor akan dihitung tiap 15 menit dan di rata-ratakan pada kondisi normal. Dari hasil pengukuran di atas menggunakan sensor AHT10 pada kelembapan normal yang dilakukan selama 2 jam 15 menit dengan 10 kondisi yang berbeda didapatkan bahwa *error* rata-rata yang didapatkan adalah 1.90% dan akurasi yang di dapatkan adalah 98.10%.

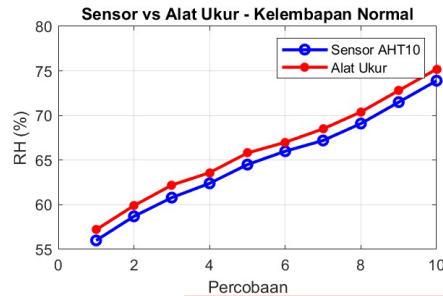


Figure 7 Grafik Sensor Vs Alat Ukur Kelembapan Normal

3. Pengujian Kelembapan Tinggi Sensor AHT10

Table 7 Pengujian Kelembapan Tinggi

No	Waktu	Sensor AHT10 (%)	Alat Ukur (%)	Selisih (%)	Error (%)
1	19:00	80.5	81.8	1.3	1.59
2	19:15	82.8	84.1	1.3	1.55
3	19:30	84.0	85.2	1.2	1.41
4	19:45	85.5	86.7	1.2	1.38
5	20:00	87.1	88.4	1.3	1.47
6	20:15	88.3	89.6	1.3	1.45
7	20:30	90.0	91.3	1.3	1.42
8	20:45	91.3	92.6	1.3	1.40
9	21:00	92.5	93.8	1.3	1.39
10	21:15	93.0	94.3	1.3	1.38

Dapat dilihat terdapat perbedaan antara hasil pengukuran dengan sensor dan hasil alat ukur. Nilai *error* dari sensor akan dihitung tiap 15 menit dan di rata-ratakan pada kondisi tinggi. Dari hasil pengukuran di atas menggunakan sensor AHT10 pada kelembapan tinggi yang dilakukan selama 2 jam 15 menit dengan 10 kondisi yang berbeda didapatkan bahwa *error* rata-rata yang didapatkan adalah 1.44% dan akurasi yang di dapatkan adalah 98.56%.

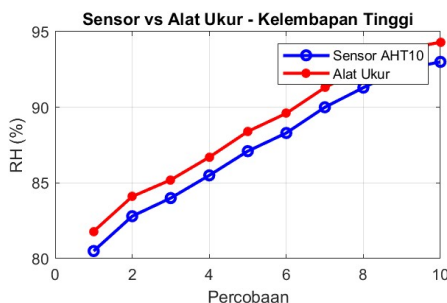


Figure 8 Grafik Sensor Vs Alat Ukur Kelembapan Tinggi

C. Pengujian Sensor BH1750

Pengujian ini, dilakukan perbandingan antara sensor BH1750 dengan alat ukur referensi Lux digital untuk mengetahui tingkat akurasi dan kesalahan pengukuran intensitas cahaya dalam satuan Lux.

1. Pengujian Kondisi Sangat Terang Sensor BH1750

Table 8 Pengujian Kondisi Sangat Terang

No	Waktu	Sensor BH1750 (lux)	Alat Ukur (lux)	Selisih (lux)	Error (%)
1	14:00	3280	3065	215	7.01
2	14:15	3520	3290	230	6.99
3	14:30	3750	3545	205	5.78
4	14:45	3990	3780	210	5.56
5	15:00	4220	4015	205	5.10
6	15:15	4450	4240	210	4.95
7	15:30	4680	4465	215	4.81
8	15:45	4920	4690	230	4.90

Dapat dilihat terdapat perbedaan antara hasil pengukuran dengan sensor dan hasil alat ukur. Nilai *error* dari sensor akan dihitung tiap 15 menit dan di rata-ratakan pada kondisi sangat terang. Pada hasil pengukuran menunjukkan bahwa *error* rata-rata yang didapatkan adalah 5.64% dan akurasi yang didapatkan adalah 94.36%.

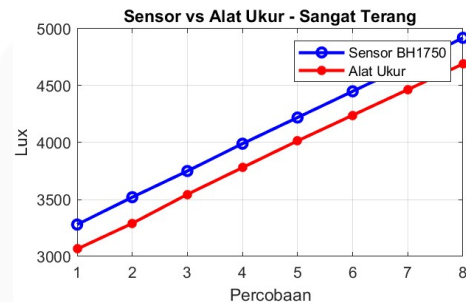


Figure 9 Grafik Sensor Vs Alat Ukur Kondisi Sangat Terang

2. Pengujian Kondisi Terang Sensor BH1750

Table 9 Pengujian Kondisi Terang

No	Waktu	Sensor BH1750 (lux)	Alat Ukur (lux)	Selisih (lux)	Error (%)
1	09:00	2180	1980	200	10.10
2	09:15	2370	2160	210	9.72
3	09:30	2451	2260	191	8.45
4	09:45	2795	2590	205	7.91
5	10:00	2985	2780	205	7.37
6	10:15	3220	3015	205	6.80
7	10:30	3385	3180	205	6.45
8	10:45	3520	3310	210	6.34

Dapat dilihat terdapat perbedaan antara hasil pengukuran dengan sensor dan hasil alat ukur. Nilai *error* dari sensor akan dihitung tiap 15 menit dan di rata-ratakan pada kondisi terang. Dari hasil pengukuran di atas menggunakan sensor BH1750 pada kondisi terang yang dilakukan selama 2 jam 15 menit dengan 8 kondisi yang berbeda didapatkan

bahwa *error* rata-rata yang didapatkan adalah 7.89% dan akurasi yang di dapatkan adalah 92.11%.

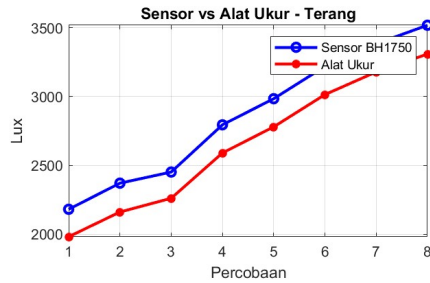


Figure 10 Grafik Sensor Vs Alat Ukur Kondisi Terang

3. Pengujian Kondisi Redup Sensor BH1750

Table 10 Pengujian Kondisi Redup

No	Waktu	Sensor BH1750 (lux)	Alat Ukur (lux)	Selisih (lux)	Error (%)
1	18:00	1220	1020	200	19.61
2	18:15	1460	1250	210	16.80
3	18:30	1685	1480	205	13.85
4	18:45	1895	1690	205	12.13
5	19:00	2125	1920	205	10.68
6	19:15	2340	2140	200	9.35
7	19:30	2555	2350	205	8.72
8	19:45	2590	2380	210	8.82

Dapat dilihat terdapat perbedaan antara hasil pengukuran dengan sensor dan hasil alat ukur. Nilai *error* dari sensor akan dihitung tiap 15 menit dan di rata-ratakan pada kondisi redup. Dari hasil pengukuran di atas menggunakan sensor BH1750 pada kondisi redup yang dilakukan selama 1 jam 45 menit dengan 8 kondisi yang berbeda didapatkan bahwa *error* rata-rata yang didapatkan adalah 1250% dan akurasi yang di dapatkan adalah 87.50%.

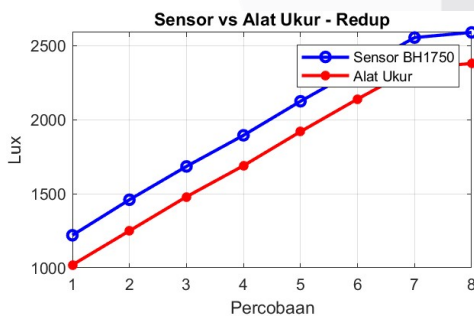


Figure 11 Grafik Sensor Vs Alat Ukur Kondisi Redup

4. Pengujian Kondisi Gelap Sensor BH1750

Table 11 Pengujian Kondisi Gelap

No	Waktu	Sensor BH1750 (lux)	Alat Ukur (°C)	Selisih (°C)	Error (%)
1	20:00	365	165	200	121.21
2	20:15	530	320	210	65.63

3	20:30	690	485	205	42.27
4	20:45	885	680	205	30.15
5	21:00	1090	885	205	23.16
6	21:15	1315	1115	200	17.94
7	21:30	1525	1320	205	15.53
8	21:45	1655	1445	210	14.53

Dapat dilihat terdapat perbedaan antara hasil pengukuran dengan sensor dan hasil alat ukur. Nilai *error* dari sensor akan dihitung tiap 15 menit dan di rata-ratakan pada kondisi gelap. Dari hasil pengukuran di atas menggunakan sensor BH1750 pada kondisi gelap yang dilakukan selama 1 jam 45 menit dengan 8 kondisi yang berbeda didapatkan bahwa *error* rata-rata yang didapatkan adalah 41.30% dan akurasi yang di dapatkan adalah 58.70%.

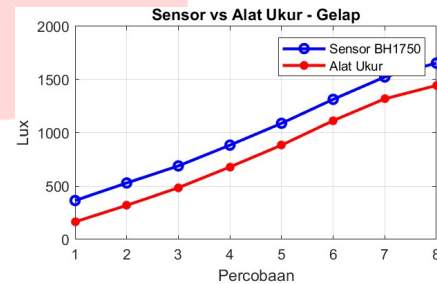


Figure 12 Grafik Sensor Vs Alat Ukur Kondisi Gelap

D. Pengujian Keseluruhan Sistem

Berdasarkan data pengujian sistem monitoring dan kontrol tanaman, sistem menunjukkan kemampuan adaptasi yang baik terhadap perubahan kondisi lingkungan sepanjang hari.

1. Kondisi Pagi



Figure 13 Pengujian Sistem Kondisi Pagi

Pengujian sistem pada kondisi pagi menunjukkan transisi yang stabil dari malam ke siang dengan suhu yang sudah mulai hangat (30.2-32.8°C) dan kelembapan udara yang masih tinggi (63-71%). Intensitas cahaya matahari yang masih redup (1200-1650 lux) mengakibatkan lampu *grow light* beroperasi dengan intensitas sedang (*PWM* 100-150) untuk membantu proses fotosintesis tanaman, sementara *fan* beroperasi dengan kecepatan pelan (*PWM* 30) untuk menjaga sirkulasi udara tanpa menyebabkan penguapan berlebih. Pompa air tetap

dalam keadaan mati karena kelembapan udara yang masih dalam kategori "lembap" sudah mencukupi kebutuhan air tanaman, menunjukkan efisiensi sistem dalam menghemat energi saat kondisi lingkungan mendukung.

2. Kondisi Siang



Figure 14 Pengujian Sistem Kondisi Siang

Pengujian sistem pada kondisi siang menghadapi tantangan terberat dengan suhu yang sangat tinggi ($34.8-36.3^{\circ}\text{C}$) dan kelembapan udara yang rendah ($50-58\%$). Sistem merespons dengan mengaktifkan *fan* pada intensitas maksimal (*PWM* 200) untuk mengatasi suhu panas dan menjaga sirkulasi udara yang optimal, sementara pompa air beroperasi dengan intensitas sedang hingga cepat (*PWM* 100-170) untuk mencegah *stress* air pada tanaman akibat kombinasi suhu tinggi dan kelembapan rendah. Lampu *grow light* beroperasi dengan intensitas pelan (*PWM* 30-80) karena intensitas cahaya matahari yang sudah cukup terang ($2420-2950\text{ lux}$), menunjukkan kemampuan sistem dalam menyeimbangkan kebutuhan pencahayaan dengan efisiensi energi.

3. Kondisi Sore



Figure 15 Pengujian Sistem Kondisi Pagi

Pengujian sistem pada kondisi sore menunjukkan adaptasi yang baik terhadap transisi dari siang ke malam dengan suhu yang mulai menurun ($28.5-30.1^{\circ}\text{C}$) dan kelembapan udara yang meningkat ($73-79\%$). Sistem secara otomatis mengompensasi penurunan drastis intensitas cahaya matahari ($380-520\text{ lux}$) dengan mengaktifkan lampu *grow light*

pada intensitas maksimal (*PWM* 255) untuk memastikan tanaman tetap mendapat cahaya yang cukup untuk fotosintesis. *Fan* beroperasi dengan intensitas sedang (*PWM* 100) untuk menjaga sirkulasi udara yang seimbang, sementara pompa air dimatikan karena kelembapan udara yang sudah berada dalam kategori "lembap" mencukupi kebutuhan tanaman.

4. Kondisi Malam

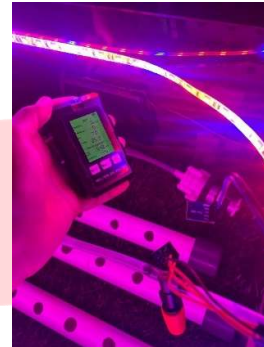


Figure 16 Pengujian Sistem Kondisi Pagi

Pengujian sistem pada kondisi malam menunjukkan kemampuan sistem dalam mempertahankan kondisi optimal untuk pertumbuhan tanaman dengan suhu yang sejuk ($24.8-26.1^{\circ}\text{C}$) dan kelembapan udara yang tinggi ($75-80\%$). Lampu *grow light* beroperasi dengan intensitas maksimal (*PWM* 255) untuk menggantikan peran cahaya matahari yang sudah sangat rendah ($580-720\text{ lux}$) dalam mendukung proses fotosintesis dan pertumbuhan tanaman. *Fan* beroperasi dengan intensitas pelan (*PWM* 30) karena suhu yang sudah dalam kategori sedang tidak memerlukan pendinginan berlebih, sementara pompa air tetap mati karena kelembapan udara yang tinggi sudah mencukupi kebutuhan air tanaman, menciptakan lingkungan yang ideal untuk proses respirasi dan pertumbuhan malam hari.

E. Tampilan User Interface Aplikasi

Tampilan utama terbagi menjadi tiga bagian inti, yaitu Dashboard, Kontrol, dan Riwayat (History). Penjelasan masing-masing tampilan disajikan sebagai berikut :

1. Dashboard Aplikasi

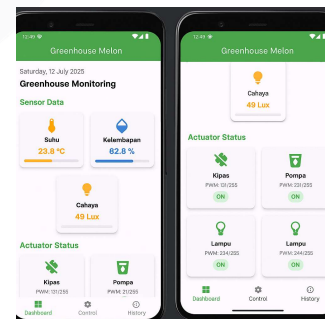


Figure 17 Dashboard Aplikasi

Tampilan Dashboard berfungsi untuk menampilkan kondisi lingkungan greenhouse secara real-time, meliputi:

- Sensor suhu, ditampilkan dalam satuan °C
- Sensor kelembapan udara, ditampilkan dalam satuan %
- Sensor intensitas cahaya, ditampilkan dalam satuan lux

Selain itu, status aktuator seperti kipas, pompa air, dan lampu *grow light* juga ditampilkan lengkap dengan nilai PWM (*Pulse Width Modulation*) dan indikator *ON/OFF*, sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi operasional sistem secara langsung

2. Kontrol Manual Aktuator



Figure 18 Kontrol Manual Aktuator

Menu kontrol memungkinkan pengguna untuk mengaktifkan atau menonaktifkan kontrol manual terhadap masing-masing aktuator. Ketika mode manual diaktifkan:

- Sistem fuzzy otomatis akan dinonaktifkan
- Aktuator akan berjalan pada nilai PWM maksimum (255)

Setiap aktuator dilengkapi dengan tombol AUTO dan toggle *ON/OFF*, serta informasi status terkini. Fitur ini berguna untuk mengambil alih kendali sistem ketika dibutuhkan, seperti saat perawatan atau kondisi darurat.

3. Riwayat Pengamatan (*History*)



Figure 19 Riwayat Pengamatan

Tampilan *History* menyajikan rekaman data sensor dan aktuator secara periodik berdasarkan waktu, dalam bentuk log terurut dari waktu terbaru. Setiap entri log menampilkan:

- Tanggal dan waktu pengambilan data
- Nilai suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya
- Status serta nilai PWM untuk kipas, pompa, dan lampu

Fitur ini penting untuk analisis performa sistem, pencatatan data lingkungan, serta pengecekan kestabilan dari hasil kendali otomatis selama periode tertentu.

V. KESIMPULAN

Sistem berbasis *Internet of Things (IoT)* dengan mikrokontroler *ESP32* berhasil dikembangkan untuk memantau suhu, kelembapan udara, dan intensitas cahaya secara *real-time* dalam budidaya melon di *greenhouse*, menggunakan sensor *AHT10* dan *BH1750* yang terintegrasi dengan *Firebase* untuk pemantauan jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan akurasi tinggi dengan rata-rata *error* $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ untuk suhu, $\pm 2\%$ untuk kelembapan, dan ± 10 lux untuk intensitas cahaya, membuktikan keandalan sistem dalam menyediakan data bagi pengambilan keputusan otomatis. Implementasi *fuzzy logic Mamdani* memungkinkan kontrol adaptif terhadap aktuator seperti *exhaust fan*, pompa air, dan lampu tumbuh, guna menciptakan kondisi lingkungan optimal. Selain itu, penggunaan *Firebase* memungkinkan pengiriman data dengan rata-rata *delay* 5 detik dan tingkat keberhasilan 98%, memberikan efisiensi dalam akses dan kendali sistem dari jarak jauh.

REFERENSI

- [1] R. M. Iswandi *et al.*, "INOVASI PEMASARAN TANAMAN MELON HIDROPONIK DALAM GREENHOUSE MELALUI MARKETPLACE FACEBOOK," *Jurnal Abdi Insani*, vol. 10, no. 4, pp. 2679–2691, Dec. 2023, doi: 10.29303/abdiinsani.v10i4.1211.
- [2] U. Ristian, I. Ruslianto, K. Sari, and J. DrHHadari Nawawi, "JEPIN (Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika) Sistem Monitoring Smart Greenhouse pada Lahan Terbatas Berbasis Internet of Things (IoT)," 2022.
- [3] B. Harsanto, "INOVASI INTERNET OF THINGS PADA SEKTOR PERTANIAN: PENDEKATAN ANALISIS SCIENTOMETRICS Internet of Things Innovation in Agriculture Sector: A Scientometrics Analysis."
- [4] M. W. Hamdani, A. Stefanie, Y. Saragih, and U. S. Karawang, "Perancangan dan Implementasi Metode Kontrol Fuzzy Logic Mamdani pada Sistem Kontrol TDS dan pH Hidroponik."

- [5] R. Siskandar, S. H. Santosa, W. Wiyoto, B. R. Kusumah, and A. P. Hidayat, "Control and Automation: Insmoaf (Integrated Smart Modern Agriculture and Fisheries) on The Greenhouse Model," *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, vol. 27, no. 1, Jan. 2022, doi: 10.18343/jipi.27.1.141.
- [6] R. M. Iswandi *et al.*, "INOVASI PEMASARAN TANAMAN MELON HIDROPONIK DALAM GREENHOUSE MELALUI MARKETPLACE FACEBOOK," *Jurnal Abdi Insani*, vol. 10, no. 4, pp. 2679–2691, Dec. 2023, doi: 10.29303/abdiinsani.v10i4.1211.
- [7] N. Aini and E. Z. Muzakiyah, "Respons Pertumbuhan dan Hasil Mentimun (*Cucumis sativus* L.) pada Kombinasi Media Substrat dengan Sistem Hidroponik," *Jurnal Hortikultura Indonesia*, vol. 14, no. 2, pp. 100–106, Aug. 2023, doi: 10.29244/jhi.14.2.100-106.
- [8] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets *," 1965.
- [9] M. W. Hamdani, A. Stefanie, Y. Saragih, and U. S. Karawang, "Perancangan dan Implementasi Metode Kontrol Fuzzy Logic Mamdani pada Sistem Kontrol TDS dan pH Hidroponik."
- [10] B. Harsanto, "INOVASI INTERNET OF THINGS PADA SEKTOR PERTANIAN: PENDEKATAN ANALISIS SCIENTOMETRICS Internet of Things Innovation in Agriculture Sector: A Scientometrics Analysis."

