

KOMPARASI KEANDALAN SENSOR DHT22 DAN SHT31 PADA GREENHOUSE BERBASIS IOT

Akpil Mauhib¹, Rudi Hermawan²

Fakultas Teknik, Universitas Mayasari Bakti¹
email: akpilmauhib@gmail.com¹
Fakultas Teknik, Universitas Mayasari Bakti²
email: rudihermawan@mayasaribakti.ac.id²

Abstrak

Greenhouse membutuhkan sistem pemantauan suhu dan kelembaban yang andal, namun banyak sensor memiliki keterbatasan akurasi dan daya tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan. Untuk mengatasi hal ini, digunakan pendekatan Internet of Things (IoT) dengan integrasi sensor DHT22 dan SHT31. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif dengan validasi MET-0083 untuk membandingkan akurasi (MAE dan RMSE), jangkauan, dan ketahanan sensor selama dua bulan. Hasil menunjukkan bahwa SHT31 memiliki akurasi lebih tinggi dan jangkauan deteksi hingga 200 cm, namun performanya menurun pada kelembaban. Sebaliknya, DHT22 lebih stabil dalam jangka panjang meskipun kurang presisi. Dengan pendekatan coverage-based, SHT31 membutuhkan lebih sedikit unit untuk mencakup greenhouse 6×7 meter. Temuan ini memberikan dasar pemilihan sensor IoT berdasarkan orientasi sistem yaitu presisi jangka pendek atau kestabilan jangka panjang.

Kata Kunci: DHT22, Greenhouse, Internet of Things, Keandalan Sensor, SHT31

Abstract

Greenhouses require reliable temperature and humidity monitoring systems, yet many sensors suffer from limited accuracy and durability under varying environmental conditions. To address this issue, an Internet of Things (IoT) approach was applied by integrating DHT22 and SHT31 sensors. This study employed a quantitative experimental method with MET-0083 validation to compare the sensors' accuracy (MAE and RMSE), range, and durability over a two-month period. Results show that the SHT31 offers higher accuracy and a detection range of up to 200 cm, but its performance declines in humidity measurements over time. In contrast, the DHT22 demonstrates more consistent long-term stability despite lower precision. Using a coverage-based approach, SHT31 requires fewer units to cover a 6×7 meter greenhouse area. These findings provide a basis for selecting IoT sensors according to system orientation whether prioritizing short-term precision or long-term stability.

Keywords: DHT22, Greenhouse, Internet of Things, Sensor Reliability, SHT31

1. PENDAHULUAN

Pertanian memegang peran penting dalam menjaga ketahanan pangan (Rahayu, 2024), terlebih di tengah perubahan iklim dan pertumbuhan penduduk yang terus meningkat (Ariani, 2014). Di Indonesia, jumlah penduduk mencapai 281.603,8 juta jiwa pada 2024 (BPS, 2024), dengan pola konsumsi yang juga naik, seperti konsumsi beras dan bayam yang meningkat dari 2019 ke 2022 (BPS, 2023). Namun, fenomena iklim ekstrem seperti suhu yang mencapai 40°C (Agustia dkk., 2024) dan anomali curah hujan mempengaruhi produktivitas pertanian (Putratama, 2024). Salah satu solusi adaptif adalah penggunaan greenhouse (Suadnya, 2020) yang mampu mengatur suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya secara terkontrol (Zain, 2024). Namun, sistem monitoring di greenhouse masih memiliki keterbatasan (D. R. Agustina dkk., 2023), terutama dalam kestabilan data karena dinamika lingkungan (Muskhir dkk., 2024). IoT menjadi pendekatan yang potensial karena memungkinkan pemantauan real-time melalui sensor (Hermawan dkk., 2023), meskipun pemilihan sensor yang tepat sangat menentukan efektivitas sistem (Retno Devita dkk., 2021).

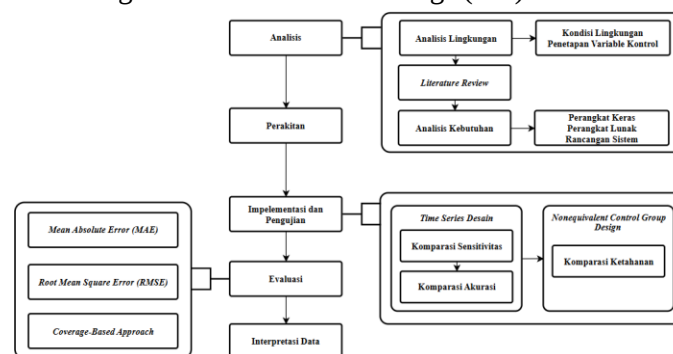
Sensor DHT22 umum digunakan karena harganya terjangkau dan mudah dipasang, namun memiliki keterbatasan presisi (Wardani dkk., 2023). Sementara itu, SHT31 menawarkan akurasi lebih tinggi, meski dengan harga lebih mahal (REDDY, 2024). Jarak cakupan sensor juga menjadi pertimbangan penting (Nizar dkk., 2024) dalam menentukan jumlah dan distribusinya (Hermawan dkk., 2024).

Sayangnya, sebagian studi sebelumnya hanya dilakukan di ruang tertutup berpendingin (Rustami dkk., 2022), yang tidak sepenuhnya mencerminkan kondisi greenhouse sebenarnya. Kebaruan dalam penelitian ini terletak pada evaluasi eksperimental jangka menengah terhadap dua jenis sensor yang diuji langsung di lingkungan greenhouse nyata yang dinamis, serta penerapan pendekatan coverage-based untuk menentukan distribusi sensor yang paling efisien. Penelitian ini juga mengintegrasikan sistem pemantauan otomatis berbasis Google Apps Script tanpa komputer perantara, yang belum banyak dibahas dalam studi serupa.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen dan rancangan komparatif. Data suhu dan kelembaban dianalisis secara statistik untuk mengukur akurasi masing-masing sensor, dan divalidasi menggunakan alat ukur manual MET-0083. Penelitian ini juga bertujuan menentukan jumlah dan distribusi sensor yang paling optimal dalam sistem IoT untuk greenhouse, khususnya dalam menghadapi kondisi cuaca ekstrem yang semakin tidak menentu. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis berupa model konfigurasi sistem monitoring greenhouse yang optimal baik dalam pemilihan jenis sensor, strategi distribusi, maupun efisiensi jumlah sensor guna menunjang produktivitas pertanian secara berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen kuantitatif dengan rancangan komparatif untuk menganalisis perbedaan akurasi, ketahanan, dan batas jarak sensitivitas antara sensor DHT22 dan SHT31 dalam sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT).



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Pendekatan eksperimen dipilih karena memungkinkan pengujian sensor dalam kondisi terkontrol sehingga hubungan sebab-akibat antar variabel dapat ditentukan secara jelas (Hermawan dkk., 2024). Pendekatan kuantitatif digunakan untuk memperoleh dan mengolah data numerik dari pengujian sensor suhu dan kelembaban pada lingkungan greenhouse yang seragam, sehingga hasil pengukuran dapat dibandingkan secara objektif dan dianalisis secara statistik (Ardiansyah dkk., 2023). Rancangan komparatif diterapkan untuk membandingkan performa kedua sensor secara menyeluruh (Syafnidawaty, 2020), sehingga dapat ditentukan sensor mana yang lebih optimal untuk sistem monitoring IoT. Validasi data dilakukan dengan menggunakan alat ukur manual MET-0083 untuk memastikan data yang diperoleh akurat (CNC STORE, 2023).

Penelitian ini menggunakan dua metode eksperimen, yaitu Time Series Design dan Nonequivalent Control Group Design. Pada Time Series Design, sensor merekam data suhu dan kelembaban secara real-time dan dianalisis setiap dua minggu, termasuk pengujian sensitivitas dengan paparan panas dari hairdryer untuk melihat respons sensor terhadap perubahan suhu secara cepat (Syakiroh dkk., 2024). Sementara itu, pada Nonequivalent Control Group Design, ketahanan sensor diuji dengan membandingkan kondisi fisik dan akurasi sebelum dan setelah dua bulan penggunaan untuk

mendeteksi penurunan performa akibat kondisi lingkungan (Chaduvula dkk., 2021). Data dikumpulkan melalui pengukuran otomatis sensor IoT yang dibandingkan dengan alat ukur MET-0083, dokumentasi kondisi fisik sensor, serta eksperimen jarak sensitivitas dengan sumber panas. Analisis data menggunakan metode statistik, seperti Mean Absolute Error (MAE) (Yulis et al., 2025) dan Root Mean Square Error (RMSE) (Thombre, 2024), untuk mengukur tingkat kesalahan pembacaan sensor dibandingkan nilai referensi.

Pendekatan Coverage-Based Approach juga diterapkan untuk mengevaluasi sejauh mana sensor mampu memantau area greenhouse secara efektif, sehingga dapat menentukan jumlah dan distribusi sensor yang optimal dalam sistem monitoring (Hermawan dkk., 2024). Hasil penelitian difokuskan pada pemilihan sensor dengan performa terbaik berdasarkan akurasi, ketahanan, dan sensitivitas terhadap perubahan lingkungan, serta memberikan rekomendasi jumlah sensor yang ideal. Temuan ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pemilihan sensor yang lebih efektif untuk aplikasi pertanian berbasis teknologi IoT.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah awal dalam penelitian ini adalah melakukan observasi terhadap lingkungan greenhouse sebagai lokasi utama eksperimen. Observasi ini dilakukan untuk memahami karakteristik lingkungan yang dapat memengaruhi kinerja sensor suhu dan kelembaban, khususnya DHT22 dan SHT31. Beberapa aspek penting yang diamati antara lain ukuran, suhu dan kelembaban harian, sirkulasi udara, pencahayaan, serta potensi gangguan eksternal terhadap sensor.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa greenhouse berukuran 6x7 m dengan suhu di dalam greenhouse mengalami fluktuasi yang cukup signifikan, terutama pada siang hari. Suhu tercatat bisa mencapai lebih dari 33°C, sedangkan pada pagi dan malam hari bisa turun hingga 25°C. Kelembaban udara juga bervariasi, dengan nilai berkisar antara 60% hingga 90%, tergantung pada cuaca dan aktivitas penyiraman tanaman. Selain itu, ventilasi pada greenhouse bersifat pasif, yaitu hanya mengandalkan bukaan pada sisi atas dan samping tanpa bantuan alat pendingin atau kipas. Hal ini menyebabkan suhu dalam greenhouse bisa meningkat tajam saat sinar matahari masuk secara langsung, terutama pada siang hari. Kondisi ini cukup menantang bagi sensor karena perubahan suhu bisa terjadi dengan cepat.

Greenhouse juga memiliki intensitas cahaya tinggi karena menggunakan atap transparan dari plastik UV. Hal ini dapat menimbulkan efek rumah kaca yang membuat suhu meningkat drastis saat cuaca cerah. Di sisi lain, terdapat potensi gangguan eksternal terhadap sensor seperti debu, kelembaban tinggi, dan cipratan air dari penyiraman yang bisa memengaruhi keakuratan sensor dalam jangka waktu tertentu.

3.1 Perakitan dan Integrasi Komponen

Tahap awal implementasi dilakukan dengan merancang dan merakit sistem monitoring berbasis mikrokontroler ESP32, yang berfungsi sebagai otak dari sistem dan bertugas mengumpulkan data dari dua sensor suhu dan kelembaban udara, yaitu DHT22 dan SHT31. Sistem ini dirancang untuk melakukan pengukuran data lingkungan secara real-time dan mengirimkannya secara otomatis ke platform cloud, yaitu Google Sheets, tanpa perlu perangkat komputer sebagai perantara.



Gambar 2. Alat Uji

3.2 Penggunaan Google Spreadsheet dan Google Apps Script

Untuk menyimpan data hasil pembacaan sensor secara daring, digunakan Google Spreadsheet sebagai media penyimpanan berbasis cloud. Agar mikrokontroler ESP32 dapat mengirimkan data ke Spreadsheet secara langsung, digunakan Google Apps Script sebagai webhook penerima data.

3.3 Pelaksanaan Eksperimen Komparatif (Time Series Desain)

Pada metode Time Series Design, sensor DHT22 dan SHT31 dipasang secara berdampingan di dalam greenhouse. Sistem monitoring akan mencatat data suhu dan kelembaban secara real-time dan otomatis mengirimkan data ke Google Spreadsheet setiap interval waktu tertentu. Pengujian dilakukan selama periode dua bulan, di mana setiap dua minggu data rata-rata suhu dan kelembaban dari masing-masing sensor akan dibandingkan dengan data pengukuran manual menggunakan alat ukur standar MET-0083 sebagai pembandingan (benchmark).

Selain pengamatan data berkala, dilakukan pula pengujian sensitivitas terhadap perubahan suhu dengan menggunakan alat pemanas (hairdryer) di awal pengujian dan di akhir. Sensor akan diuji dengan paparan udara panas dari jarak berbeda (50cm, 100cm, 150cm, 200cm, 0°, 45°, 90°). Tujuan dari pengujian sensitivitas ini adalah untuk mengevaluasi seberapa cepat dan akurat sensor dalam merespons perubahan suhu lingkungan yang mendadak. Hasil dari eksperimen ini akan digunakan untuk menganalisis: keakuratan pembacaan suhu dan kelembaban sensor dibandingkan alat standar, konsistensi data selama periode waktu tertentu dan responsivitas sensor terhadap perubahan suhu secara cepat.

3.4 Eksperimen Nonequivalent Control Group Design

Metode Nonequivalent Control Group Design digunakan untuk menilai ketahanan fisik dan akurasi sensor setelah digunakan dalam jangka waktu tertentu di lingkungan greenhouse. Pada tahap awal (pretest), sensor DHT22 dan SHT31 dievaluasi secara visual dan fungsional untuk memastikan kondisi fisik yang baik serta keakuratan pembacaan terhadap suhu dan kelembaban dengan membandingkannya menggunakan alat ukur manual (MET-0083). Setelah dua bulan penggunaan kontinu dalam sistem monitoring di greenhouse, dilakukan posttest guna menilai adanya penurunan akurasi serta kemungkinan degradasi fisik akibat kondisi lingkungan seperti kelembaban tinggi, suhu ekstrem, dan partikel kontaminan. Perbandingan hasil pretest dan posttest ini bertujuan untuk menilai ketahanan dan kestabilan performa sensor dalam jangka waktu tertentu. Temuan dari pengujian ini memberikan gambaran mengenai umur teknis sensor serta kelayakannya untuk digunakan dalam pemantauan jangka panjang tanpa memerlukan kalibrasi atau penggantian secara berkala.

3.5 Rekapitulasi Data Hasil Pengamatan

Pengumpulan data dilakukan selama dua bulan dengan pengukuran suhu dan kelembaban yang dilakukan secara berkala setiap dua minggu. Pada setiap periode tersebut, data rata-rata dianalisis dan dibandingkan dengan hasil pengukuran manual menggunakan alat referensi MET-0083. Data yang dikumpulkan berasal dari tiga perangkat, yaitu alat referensi MET-0083, sensor SHT31, dan sensor DHT22, di mana ketiganya mencatat nilai suhu dan kelembaban lingkungan greenhouse secara simultan. Berikut adalah data yang telah dikumpulkan:

Tabel 1. Rekapitulasi Data Hasil Penelitian

Minggu	Error Absolut				Error Kuadrat				
	Temp SHT31	Hum SHT31	Temp DHT22	Hum DHT22	Temp SHT31	Hum SHT31	Temp DHT22	Hum DHT22	Temp SHT31
Ke-1	34,2	55	34,24	58,71	34,1	57	55	34,24	58,71
	29,9	74	28,3	74,79	28,1	75,4	74	28,3	74,79
	26,3	75	26,69	78,28	26,9	76,9	75	26,69	78,28
	27,6	74	26,47	82,31	26,7	82	74	26,47	82,31
Ke-2	25,9	79	26,9	81,66	26,7	82,7	79	26,9	81,66
	24,9	82	25,04	89,6	25,1	89,4	82	25,04	89,6
	25,3	83	25,33	86,55	25,7	87,7	83	25,33	86,55

Minggu	Error Absolut				Error Kuadrat				
	Temp SHT31	Hum SHT31	Temp DHT22	Hum DHT22	Temp SHT31	Hum SHT31	Temp DHT22	Hum DHT22	Temp SHT31
Ke-3	24,7	81	24,04	91,36	23,9	94,2	81	24,04	91,36
	24	84	24,02	91,36	24	94,8	84	24,02	91,36
	26,4	77	26,64	80,14	26,9	79,3	77	26,64	80,14
	28,6	67	28,65	74,65	27,9	77	67	28,65	74,65
	27,3	73	27,51	79,13	27,7	78,9	73	27,51	79,13
Ke-4	26,3	83	26,36	87,74	26,5	88,7	83	26,36	87,74
	27,5	71	27,54	86,43	27,2	82,4	71	27,54	86,43
	26,4	72	27,65	83,83	26,8	82,8	72	27,65	83,83
	25,6	73	27,79	81,98	26,9	81,7	73	27,79	81,98
	25,9	71	28,27	82,66	27,9	80,8	71	28,27	82,66
	26,7	71	28,72	81,61	28,5	79,7	71	28,72	81,61

3.6 Perhitungan Error Absolut dan Error Kuadrat

Setelah data hasil pengukuran sensor dan nilai referensi disajikan, langkah selanjutnya adalah menghitung Error Absolut dan Error Kuadrat guna mengetahui sejauh mana hasil pengukuran sensor menyimpang dari nilai referensi. Error Absolut diperoleh dari nilai mutlak selisih antara hasil pengukuran sensor dengan nilai referensi, memberikan gambaran besar kesalahan tanpa memperhatikan arah selisih. Sementara itu, Error Kuadrat dihitung dari kuadrat selisih antara nilai pengukuran dan referensi, yang menekankan deviasi besar dengan dampak lebih signifikan terhadap analisis. Berikut perhitungan error absolut dan error kuadrat:

Tabel 2. Perhitungan Error Absolut dan Error Kuadrat

Minggu	Error Absolut				Error Kuadrat				
	Temp SHT3 1	Hum SHT3 1	Temp DHT2 2	Hum DHT2 2	Temp SHT3 1	Hum SHT31	Temp DHT2 2	Hum DHT2 2	Temp SHT3 1
Ke-1	0,04	3,71	0,1	2	0,002	13,764	0,01	4	0,04
	1,6	0,79	1,8	1,4	2,560	0,624	3,24	1,96	1,6
	0,39	3,28	0,6	1,9	0,152	10,758	0,36	3,61	0,39
	1,13	8,31	0,9	8	1,277	69,056	0,81	64	1,13
Ke-2	1	2,66	0,8	3,7	1,000	7,076	0,64	13,69	1
	0,14	7,6	0,2	7,4	0,020	57,760	0,04	54,76	0,14
	0,03	3,55	0,4	4,7	0,001	12,603	0,16	22,09	0,03
	0,66	10,36	0,8	13,2	0,436	107,330	0,64	174,24	0,66
Ke-3	0,02	7,36	0	10,8	0,000	54,170	0	116,64	0,02
	0,24	3,14	0,5	2,3	0,058	9,860	0,25	5,29	0,24
	0,05	7,65	0,7	10	0,002	58,523	0,49	100	0,05
	0,21	6,13	0,4	5,9	0,044	37,577	0,16	34,81	0,21
Ke-4	0,06	4,74	0,2	5,7	0,004	22,468	0,04	32,49	0,06
	0,04	15,43	0,3	11,4	0,002	238,085	0,09	129,96	0,04
	0,85	1,03	0,4	10,8	0,722	1,061	0,16	116,64	0,85
	2,19	8,98	1,3	8,7	4,796	80,640	1,69	75,69	2,19
	2,37	11,66	2	9,8	5,617	135,956	4	96,04	2,37
	2,02	10,61	1,8	8,7	4,080	112,572	3,24	75,69	2,02

3.7 Perhitungan Mean Absolute Error (MAE)

Untuk mengukur tingkat akurasi sensor SHT31 dan DHT22 dalam sistem monitoring ini, digunakan metode Mean Absolute Error (MAE), yang merupakan ukuran rata-rata dari selisih absolut antara nilai yang diukur oleh sensor dengan nilai aktual dari alat pengukuran acuan (MET-0083). Rumus MAE secara umum dituliskan sebagai berikut:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|$$

Dimana : y_i adalah nilai aktual atau referensi, $\hat{y}_i$ adalah nilai hasil pembacaan sensor, n adalah jumlah total pengukuran, dan $|y_i - \hat{y}_i|$ adalah nilai absolut dari selisih antara nilai aktual dan hasil pengukuran. Hasil perhitungan MAE secara keseluruhan dirangkum dalam gambar berikut :

Minggu	Waktu	Temp (MET-0083)	Humidity (MET-0083)	Temp (SHT31)	Humidity (SHT31)	Temp (DHT22)	Humidity (DHT22)	Error Absolut Temp (SHT31)	Error Absolut Humidity (SHT31)	Error Absolut Temp (DHT22)	Error Absolut Humidity (DHT22)
Minggu Ke-1	09/03/2025 12:57:02	34.2	55	34.24	58.71	34.1	57	0.04	3.71	0.1	2
	09/03/2025 16:02:53	29.9	74	28.3	74.79	28.1	75.4	1.6	0.79	1.6	1.4
	09/03/2025 17:56:31	26.3	75	26.69	78.28	26.9	76.9	0.39	3.28	0.6	1.9
	09/03/2025 20:39:52	27.8	74	26.47	82.31	26.7	82	1.13	8.31	0.9	8
Minggu Ke-2	30/03/2025 0:03:09	25.9	79	26.9	81.66	26.7	82.7	1	2.66	0.8	3.7
	30/03/2025 20:45:26	24.9	82	25.84	89.6	25.1	89.4	0.14	7.6	0.2	7.4
	30/03/2025 20:46:54	25.3	83	26.33	86.55	25.7	87.7	0.03	3.55	0.4	4.7
	30/03/2025 20:59:28	24.7	81	24.04	91.36	23.9	94.2	0.66	10.36	0.8	13.2
Minggu Ke-3	30/03/2025 21:16:10	24	84	24.02	91.36	24	94.6	0.02	7.36	0	10.6
	06/04/2025 9:29:53	26.4	77	26.64	80.14	26.9	79.3	0.24	3.14	0.5	2.3
	06/04/2025 11:53:36	28.6	67	28.65	74.65	27.9	77	0.65	7.65	0.7	10
	06/04/2025 16:24:08	27.3	73	27.51	79.13	27.7	78.9	0.21	6.13	0.4	5.9
Minggu Ke-4	06/04/2025 18:43:00	26.3	83	26.36	87.74	26.5	88.7	0.06	4.74	0.2	5.7
	13/04/2025 9:14:08	27.5	71	27.64	86.43	27.2	82.4	0.34	16.43	0.3	11.4
	13/04/2025 12:40:37	26.4	72	27.65	83.83	26.8	82.8	0.85	1.83	0.4	10.8
	13/04/2025 15:00:01	25.6	73	27.79	81.98	26.9	81.7	2.19	8.98	1.3	8.7
Minggu Ke-4	13/04/2025 16:59:33	25.9	71	28.27	82.68	27.9	80.8	2.37	11.68	2	9.8
	13/04/2025 19:46:25	26.7	71	28.72	81.61	28.5	79.7	2.02	10.61	1.8	8.7
Hasil Pengujian Akurasi Sensor SHT31 dan DHT22 dengan menggunakan perbandingan MET-0083											
		MAE (Mean Absolute Error)									
		Minggu	Temp (SHT31)	Humidity (SHT31)	Temp (DHT22)	Humidity (DHT22)					
		1	0.796	4.073	0.889	3.325					
		2	0.370	6.306	0.440	7.960					
		3	0.140	5.415	0.400	5.976					
		4	1.494	9.942	1.160	9.880					

Gambar 3. Perhitungan MAE

Dari hasil tabel tersebut dapat dilihat bahwa nilai MAE pada pengukuran suhu cenderung rendah pada minggu ke-2 dan ke-3, yang menunjukkan bahwa kedua sensor memiliki akurasi tinggi pada minggu-minggu tersebut. Namun, nilai MAE meningkat pada minggu ke-4, Berdasarkan hasil pengecekan pada minggu keempat, performa sensor mengalami gangguan yang dapat dipastikan disebabkan oleh kondisi cuaca ekstrem di lingkungan greenhouse. Merujuk pada data resmi dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), pada tanggal 13 April 2025 wilayah Tasikmalaya mengalami hujan dengan intensitas ringan hingga lebat, disertai kelembaban udara tinggi antara 73%–99%, serta suhu berkisar antara 21°C–28°C. BMKG juga mengeluarkan peringatan dini mengenai potensi terjadinya sambaran petir dan angin kencang pada siang hingga sore hari. Kejadian tersebut benar-benar terjadi dan mengakibatkan atap greenhouse tersambar petir, yang berdampak langsung terhadap kestabilan pembacaan data oleh sensor, khususnya sensor suhu dan kelembaban (Eni, 2025)D.

Sementara itu, nilai MAE untuk kelembaban umumnya lebih tinggi dibanding suhu, terutama pada minggu ke-4. Hal ini menunjukkan bahwa sensor lebih sensitif terhadap perubahan kelembaban dan rentan mengalami deviasi yang lebih besar terhadap alat acuan.

3.8 Perhitungan Root Mean Square Error (RMSE)

Untuk mengevaluasi akurasi pengukuran sensor SHT31 dan DHT22, selain Mean Absolute Error (MAE) juga digunakan Root Mean Square Error (RMSE). RMSE merupakan salah satu ukuran statistik yang umum digunakan untuk mengukur perbedaan antara nilai yang diukur oleh sensor dan nilai acuan (dalam hal ini, pengukuran manual menggunakan MET-0083). Metode ini memberikan informasi mengenai besarnya error dengan menghitung rata-rata akar kuadrat dari selisih error tiap data pengukuran.

Rumus RMSE dinyatakan sebagai berikut :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

Dimana : y_i adalah nilai aktual atau referensi, $\hat{y}_i$ adalah nilai hasil pembacaan sensor, $(y_i - \hat{y}_i)^2$ adalah jumlah total pengukuran, dan $\sqrt{\quad}$ adalah kuadrat dari selisih antara nilai aktual dan nilai sensor.

Berdasarkan data pengujian, berikut adalah gambar ringkasan hasil perhitungan RMSE secara keseluruhan untuk masing-masing parameter pada sensor SHT31 dan DHT22:

Minggu	Waktu	Temp (MET-0083)	Humidity (MET-0083)	Temp (SHT31)	Humidity (SHT31)	Temp (DHT22)	Humidity (DHT22)	Error Kuadrat	
		Temp (SHT31)	Humidity (SHT31)	Temp (DHT22)	Humidity (DHT22)	Temp (SHT31)	Humidity (SHT31)	Temp (DHT22)	Humidity (DHT22)
Minggu Ke-1	09/03/2025 12:57:02	34.2	55	34.24	50.71	34.1	57	0.0016	13.7641
	09/03/2025 16:02:53	29.9	74	28.3	74.79	28.1	75.4	2.46	6.6241
	09/03/2025 17:55:31	26.3	75	26.69	70.28	26.9	76.9	0.1521	10.7504
	09/03/2025 20:39:52	27.6	74	26.47	82.31	26.7	82	1.2769	69.8561
Minggu Ke-2	30/03/2025 8:02:59	25.9	79	26.9	81.66	26.7	82.7	1	7.9756
	30/03/2025 20:45:25	24.9	82	25.84	89.6	25.1	89.4	0.0196	57.76
	30/03/2025 20:46:54	25.3	83	25.33	86.55	25.7	87.7	0.0809	12.6825
	30/03/2025 20:59:28	24.7	81	24.84	91.36	23.9	94.2	0.4356	107.3296
Minggu Ke-3	30/03/2025 21:16:16	24	84	24.82	91.36	24	94.8	0.0004	54.1966
	06/04/2025 9:29:53	26.4	77	26.64	80.14	26.9	79.3	0.0576	9.8596
	06/04/2025 11:53:36	28.6	67	28.65	74.65	27.9	77	0.0025	58.5225
	06/04/2025 16:24:08	27.3	73	27.51	76.13	27.7	76.9	0.0441	37.5169
Minggu Ke-4	06/04/2025 18:43:09	25.3	83	26.36	87.74	26.5	88.7	0.0836	22.4676
	13/04/2025 9:14:09	27.5	71	27.54	86.43	27.2	82.4	0.0016	238.0849
	13/04/2025 12:40:37	26.4	72	27.65	83.83	26.8	82.8	0.7225	1.8809
	13/04/2025 15:00:01	25.6	73	27.79	81.88	26.9	81.7	4.7961	88.8454
	13/04/2025 16:59:33	25.9	71	26.27	82.66	27.9	80.8	5.0169	135.5656
	13/04/2025 19:46:25	26.7	71	26.72	81.61	28.5	79.7	4.0804	112.5721
Minggu	RMSE (Root Mean Square Error)								
	Temp (SHT31)	Humidity (SHT31)	Temp (DHT22)	Humidity (DHT22)					
	1	0.999	4.053	1.051	4.289				
	2	0.540	6.913	0.544	8.734				
	3	0.164	5.886	2.485	6.559				
	4	1.745	10.061	1.355	9.940				

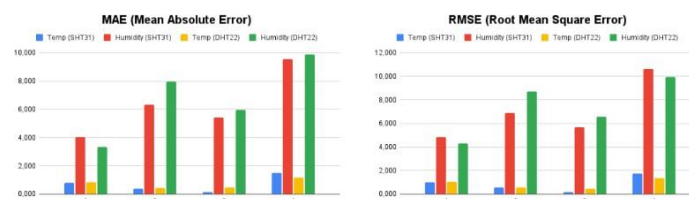
Gambar 4. Perhitungan RMSE

Analisis nilai RMSE menunjukkan bahwa tingkat kesalahan pengukuran suhu relatif kecil pada kedua sensor, terutama pada minggu-minggu awal, sementara pengukuran kelembapan cenderung mengalami fluktuasi yang lebih besar. Pada minggu pertama, error suhu masih cukup rendah, tetapi kelembapan menunjukkan variabilitas yang lebih tinggi. Minggu kedua menunjukkan peningkatan akurasi suhu namun diiringi lonjakan error kelembapan, khususnya pada DHT22. Minggu ketiga memperlihatkan perbaikan signifikan dalam akurasi suhu, terutama pada SHT31, meskipun error kelembapan tetap tinggi. Pada minggu keempat, terjadi peningkatan RMSE secara keseluruhan akibat kondisi lingkungan yang lebih ekstrem, yang memengaruhi kestabilan pembacaan kedua sensor.

3.9 Evaluasi Ketahanan Fisik dan Stabilitas Sensor

Evaluasi terhadap ketahanan fisik dan stabilitas dua sensor, yakni SHT31 dan DHT22, dilakukan untuk mengamati kemungkinan terjadinya perubahan fisik serta konsistensi data yang dihasilkan selama masa pengujian selama dua bulan. Dari ketiga sensor yang digunakan, yakni MET-0083 (sebagai referensi), SHT31, dan DHT22, hanya sensor DHT22 yang menunjukkan perubahan fisik yang tampak jelas. Perubahan ini ditandai dengan pergeseran warna casing dari putih menjadi kecokelatan, yang diduga disebabkan oleh faktor lingkungan seperti kelembapan tinggi, paparan debu, serta suhu yang ekstrem. Sebaliknya, sensor SHT31 dan MET-0083 tidak menunjukkan perubahan fisik yang berarti dan tetap dalam kondisi baik hingga akhir pengujian. Uji akurasi dan kestabilan dilakukan dengan membandingkan data suhu dan kelembapan dari sensor uji (SHT31 dan DHT22) terhadap data dari sensor referensi (MET-0083) pada dua titik waktu, yaitu Minggu ke-1 (9 Maret 2025) dan Minggu ke-4 (13 April 2025). Parameter analisis yang digunakan adalah Mean Absolute Error (MAE) dan Root Mean Square Error (RMSE), yang masing-masing merepresentasikan rata-rata deviasi absolut dan deviasi kuadrat terhadap nilai referensi. Kedua parameter ini dinilai mampu memberikan gambaran mengenai akurasi sekaligus kestabilan pembacaan sensor dalam jangka waktu tertentu.

GRAFIK HASIL DATA PENELITIAN



Gambar 5. Grafik Hasil Penelitian

Pada aspek suhu, nilai MAE pada Minggu ke-1 untuk sensor SHT31 sebesar 0,790 °C dan DHT22 sebesar 0,850 °C, dengan nilai RMSE masing-masing sebesar 0,998 °C dan 1,105 °C. Hasil ini menunjukkan bahwa pada awal pengujian, kedua sensor memiliki akurasi yang cukup baik, dengan SHT31 sedikit lebih unggul. Namun, pada Minggu ke-4 terjadi peningkatan nilai MAE menjadi 1,494 °C untuk SHT31 dan 1,160 °C untuk DHT22, disertai peningkatan RMSE menjadi 3,044 °C untuk SHT31 dan 1,836 °C untuk DHT22. Data ini mengindikasikan adanya penurunan akurasi dan kestabilan, terutama pada sensor SHT31. Sementara itu, pada aspek kelembapan, MAE pada Minggu ke-1 tercatat sebesar 4,023% untuk SHT31 dan 3,325% untuk DHT22, dengan RMSE masing-masing sebesar 23,551 dan 18,393. Meskipun secara rata-rata DHT22 menunjukkan kesalahan absolut yang lebih rendah, nilai RMSE yang cukup tinggi pada keduanya menunjukkan adanya fluktuasi yang

signifikan terhadap data referensi. Kondisi ini memburuk pada Minggu ke-4, di mana MAE meningkat menjadi 9,542% (SHT31) dan 9,880% (DHT22), sedangkan RMSE melonjak drastis menjadi 113,663 untuk SHT31 dan 98,804 untuk DHT22. Fenomena ini menunjukkan bahwa akurasi dan kestabilan pengukuran kelembapan menurun tajam, kemungkinan besar akibat kondisi lingkungan yang lebih ekstrem pada periode tersebut, seperti peningkatan suhu, kelembapan, serta paparan sinar matahari langsung di dalam greenhouse.

Berdasarkan hasil penelitian, DHT22 menunjukkan ketahanan suhu yang relatif lebih stabil dibandingkan SHT31 pada akhir masa pengujian. Meskipun SHT31 memiliki performa awal yang lebih baik, penurunan signifikan terjadi terutama pada parameter kelembapan. Nilai RMSE yang tinggi menunjukkan bahwa kedua sensor kurang stabil dalam menghadapi perubahan kondisi lingkungan, dan oleh karena itu, pemanfaatan sensor dalam jangka panjang sebaiknya disertai dengan perlindungan fisik serta prosedur kalibrasi berkala untuk menjaga akurasi pengukuran.

3.10 Perhitungan Jangkauan Efektif Sensor

Pada penelitian ini, dilakukan evaluasi terhadap jangkauan efektif dua jenis sensor suhu dan kelembapan, yaitu SHT31 dan DHT22, dalam sebuah greenhouse dengan ukuran 6 meter × 7 meter (42 m²). Tujuan dari perhitungan ini adalah untuk mengetahui seberapa luas area yang dapat terpantau secara efektif oleh masing-masing sensor berdasarkan radius jangkauan pengukuran yang telah diperoleh dari percobaan awal dan akhir. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan bahwa sensor SHT31 mampu menangkap perubahan suhu dan kelembapan secara efektif hingga jarak 200 cm (2 meter) yang berarti maka , sedangkan sensor DHT22 efektif hingga jarak 150 cm (1,5 meter). Penentuan jarak jangkauan ini dilakukan dengan metode pengukuran pada titik-titik tertentu yang berjarak 50 cm, 100 cm, 150 cm, dan 200 cm serta dari berbagai sudut arah 0°, 45° dan 90° dari sumber stimulus (hairdryer), meskipun dorongan angin dari hairdryer hanya efektif sampai jarak sekitar 60 cm. Namun, pengukuran sensor tetap menunjukkan respon yang signifikan hingga jarak jangkauan tersebut, yang menjadi dasar penentuan radius jangkauan sensor.

Jangkauan efektif sensor diasumsikan membentuk area cakupan berbentuk lingkaran dengan radius r sesuai jarak jangkauan efektif. Rumus Coverage-Based Approach dalam bentuk persentase adalah sebagai berikut:

$$\text{Coverage} = \frac{L \times W}{\pi \times r^2}$$

Di mana: $L \times W$ adalah luas greenhouse dan r adalah radius jangkauan efektif sensor berdasarkan hasil eksperimen.

Maka diperoleh hasil :

Tabel 3. Kebutuhan Sensor

Sensor	Radius (m)	Luas Jangkauan (m ²)	Total Area (m ²)	Estimasi Jumlah
SHT31	2	12,5664	42	4
DHT22	1,5	7,0686	42	6

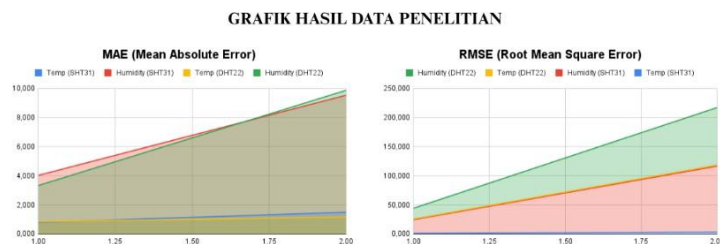
Berdasarkan hasil perhitungan jangkauan area efektif sensor dengan pendekatan coverage-based, dapat disimpulkan bahwa sensor SHT31 memiliki keunggulan dalam hal efisiensi cakupan area, dengan jangkauan hingga 200 cm dan luas cakupan sekitar 12,57 m², dibandingkan dengan DHT22 yang hanya mencakup 150 cm atau sekitar 7,07 m². Untuk mencakup seluruh area greenhouse seluas 42 m², dibutuhkan setidaknya 4 unit sensor SHT31 atau 6 unit sensor DHT22.

Implikasi dari temuan ini menunjukkan bahwa SHT31 lebih efisien dari sisi jumlah perangkat, sehingga dapat mengurangi kompleksitas instalasi dan potensi biaya pemeliharaan. Meskipun demikian, pemilihan sensor juga harus mempertimbangkan aspek akurasi, kestabilan pengukuran, dan harga satuan sensor, yang dapat mempengaruhi keputusan akhir dalam perencanaan sistem monitoring. Dalam hal penempatan, strategi sistematis direkomendasikan agar data yang diperoleh mencerminkan kondisi iklim mikro secara merata. Untuk SHT31, distribusi pada empat titik simetris (dua baris × dua

kolom) dengan jarak 3–4 meter antar sensor dinilai cukup untuk menghindari area yang tidak terpantau. Sedangkan untuk DHT22, pola dua baris $\times$ tiga kolom dengan jarak sekitar 2,5 meter diperlukan untuk mengoptimalkan cakupan dan menghindari celah dalam pengukuran. Penempatan pada ketinggian kanopi tanaman juga penting agar pengukuran suhu dan kelembapan mencerminkan kondisi aktual yang dialami tanaman di lapangan.

3.11 Interpretasi dan Penyimpulan Hasil Eksperimen

Evaluasi keakuratan sensor SHT31 dan DHT22 dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap alat referensi standar MET-0083 menggunakan metrik Mean Absolute Error (MAE) dan Root Mean Square Error (RMSE) pada periode minggu pertama dan minggu keempat. Pada minggu pertama, sensor SHT31 menunjukkan tingkat keakuratan yang lebih baik untuk pengukuran suhu, ditandai dengan nilai MAE dan RMSE yang lebih rendah dibandingkan DHT22. Namun, pada parameter kelembaban, DHT22 memperlihatkan error absolut yang lebih kecil meskipun masih berada dalam kisaran toleransi yang dapat diterima.



Gambar 6. Grafik Hasil Penelitian

Memasuki minggu keempat, terjadi peningkatan error pada kedua sensor, namun kenaikan tersebut lebih signifikan pada sensor SHT31, khususnya dalam pengukuran kelembaban di mana RMSE meningkat drastis dari 23,551 menjadi 113,663. Sebaliknya, DHT22 juga mengalami peningkatan error, tetapi dengan kenaikan yang lebih moderat, yaitu dari nilai RMSE 18,393 menjadi 98,804. Tingginya nilai RMSE pada pengukuran kelembaban ini mengindikasikan bahwa kedua sensor lebih sensitif terhadap fluktuasi kelembaban dibandingkan suhu.



Gambar 7. Analisis Sensor

Dari segi kondisi fisik, kedua sensor tetap berfungsi secara operasional tanpa kerusakan struktural yang fatal. Namun, sensor SHT31 menunjukkan perubahan fisik yang lebih nyata, seperti penguningan pada permukaan casing yang kemungkinan disebabkan oleh paparan panas berulang dan uap air, serta kondensasi ringan pada housing sensor yang diduga berkontribusi terhadap penurunan akurasi pada pengukuran kelembaban. Sebaliknya, sensor DHT22 mempertahankan kondisi fisik yang relatif lebih stabil meskipun terdapat sedikit debu pada ventilasi, tanpa perubahan signifikan pada struktur casing atau komponen luar lainnya.

Perubahan fisik yang dialami kedua sensor menunjukkan bahwa material pelindung sensor berperan penting dalam ketahanan jangka panjang terhadap kondisi lingkungan rumah kaca. Sensor SHT31, yang lebih terbuka dan sensitif terhadap lingkungan, lebih cepat mengalami degradasi performa dan fisik dibandingkan DHT22 yang memiliki desain casing lebih tertutup dan tahan terhadap kelembaban. Dengan mempertimbangkan hasil evaluasi ini, dapat disimpulkan bahwa sensor SHT31 unggul dalam hal presisi pada awal penggunaan, terutama dalam pengukuran suhu, namun performanya menurun secara signifikan dalam jangka menengah hingga panjang, terutama pada parameter

kelembaban. Di sisi lain, sensor DHT22, meskipun memiliki resolusi yang lebih rendah, menawarkan kestabilan pengukuran dan ketahanan fisik yang lebih baik, sehingga lebih sesuai untuk penggunaan jangka panjang di lingkungan rumah kaca dengan kondisi lembap dan stabil.

Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan sensor SHT31 lebih direkomendasikan untuk aplikasi yang memerlukan presisi tinggi dan bersifat jangka pendek, sementara sensor DHT22 lebih cocok untuk pemantauan jangka panjang yang menuntut kestabilan dan efisiensi biaya dalam kondisi lingkungan greenhouse.

3.12 Rekomendasi Sensor Optimal untuk Greenhouse Berbasis Internet Of Things

Berdasarkan hasil evaluasi terhadap parameter akurasi pengukuran, ketahanan fisik, performa jangka panjang, serta jangkauan area efektif, dapat disimpulkan bahwa pemilihan sensor suhu dan kelembaban untuk sistem pemantauan berbasis Internet of Things (IoT) pada lingkungan greenhouse harus mempertimbangkan integrasi antara presisi data, stabilitas operasional, dan efisiensi jumlah unit sensor yang dibutuhkan. Sensor SHT31, yang memiliki tingkat akurasi tinggi dan jangkauan deteksi yang lebih luas, sangat cocok digunakan pada sistem yang memerlukan respons cepat, seperti ventilasi otomatis atau pemantauan suhu dan kelembaban untuk pengambilan keputusan harian secara presisi. Keunggulan ini ditunjukkan oleh nilai Mean Absolute Error (MAE) dan Root Mean Square Error (RMSE) yang lebih rendah dibandingkan DHT22, terutama pada tahap awal pengujian. Hal ini mengindikasikan bahwa SHT31 memiliki sensitivitas dan presisi yang lebih tinggi, menjadikannya ideal untuk pemantauan berbasis data real-time.

Namun, pada pengujian jangka panjang, performa SHT31 mengalami penurunan signifikan, terutama pada parameter kelembaban, yang disertai gejala kondensasi dan perubahan warna casing. Fenomena ini menunjukkan bahwa SHT31 lebih rentan terhadap fluktuasi lingkungan yang lembap. Sebaliknya, sensor DHT22, meskipun memiliki akurasi awal yang lebih rendah, menunjukkan kestabilan performa dan ketahanan fisik yang lebih baik sepanjang periode pengujian. Hal ini menjadikannya lebih cocok untuk implementasi jangka panjang, terutama dalam lingkungan ekstrem atau yang tidak memungkinkan kalibrasi rutin. Dari perspektif jangkauan area efektif, pendekatan coverage-based menunjukkan bahwa SHT31 memiliki cakupan area yang lebih luas per unit dibandingkan DHT22. Untuk greenhouse seluas 42 m², jumlah sensor SHT31 yang dibutuhkan lebih sedikit, yang secara langsung berdampak pada efisiensi biaya pengadaan dan instalasi.

Dengan mempertimbangkan seluruh aspek evaluasi, direkomendasikan bahwa pemilihan sensor harus disesuaikan dengan orientasi kebutuhan sistem. Jika prioritas utama adalah akurasi tinggi dan efisiensi jumlah unit untuk mendukung sistem kendali otomatis berbasis data, maka SHT31 merupakan pilihan yang lebih tepat. Sebaliknya, jika orientasi sistem lebih menekankan keandalan jangka panjang dan minimnya perawatan, maka DHT22 lebih direkomendasikan. Sebagai alternatif strategis, pendekatan hibrida yang mengombinasikan kedua sensor secara selektif dapat menjadi solusi optimal. Penggunaan SHT31 difokuskan pada titik strategis yang berhubungan langsung dengan sistem kendali atau aktuasi, sedangkan DHT22 digunakan untuk pemantauan lingkungan umum. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan kualitas pemantauan secara menyeluruh, tetapi juga mengoptimalkan efisiensi sumber daya dan biaya operasional secara berkelanjutan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil eksperimen dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sensor SHT31 menunjukkan kinerja pengukuran suhu dan kelembaban yang lebih presisi dibandingkan DHT22 pada awal pengujian. Hal ini terlihat dari nilai MAE dan RMSE yang lebih rendah. Dalam konteks jangkauan, sensor SHT31 memiliki cakupan area efektif sebesar 12,57 m² per unit dengan jangkauan hingga 200 cm, sedangkan DHT22 mencakup sekitar 7,07 m² per unit dengan jangkauan 150 cm. Untuk mencakup seluruh area greenhouse berukuran 6×7 meter (42 m²), dibutuhkan sekitar empat unit SHT31 atau enam unit DHT22. Dengan demikian, SHT31 lebih efisien dari sisi jumlah unit yang diperlukan. Namun, dalam pengujian jangka panjang, SHT31 mengalami penurunan performa yang cukup signifikan, terutama dalam pengukuran kelembaban, serta menunjukkan degradasi fisik seperti

kondensasi dan perubahan warna pada casing. Sebaliknya, DHT22 cenderung lebih stabil baik secara fisik maupun performa meskipun tingkat akurasi awalnya lebih rendah. Oleh karena itu, pemilihan sensor sebaiknya disesuaikan dengan kebutuhan sistem. Jika yang diutamakan adalah akurasi tinggi dan efisiensi jumlah perangkat, maka SHT31 lebih direkomendasikan. Namun, jika ketahanan sensor dan kestabilan performa jangka panjang menjadi prioritas, maka DHT22 dapat dijadikan pilihan. Pendekatan kombinasi antara kedua sensor dapat menjadi strategi yang tepat, dengan menempatkan SHT31 pada titik-titik kritis yang membutuhkan presisi tinggi dan DHT22 pada area pemantauan umum.

Keterbatasan dalam penelitian ini terletak pada parameter yang diamati yang hanya mencakup suhu dan kelembaban udara, serta durasi pengujian yang terbatas pada dua bulan. Pengujian juga belum melibatkan skenario penggunaan riil dengan tanaman aktif. Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan memperluas parameter yang diamati, tidak hanya terbatas pada suhu dan kelembaban udara, tetapi juga mencakup kelembaban tanah, intensitas cahaya, dan kadar karbon dioksida, mengingat parameter tersebut turut memengaruhi pertumbuhan tanaman di dalam greenhouse. Selain itu, pengujian sebaiknya dilakukan dalam kondisi lingkungan yang aktif digunakan untuk budidaya tanaman guna memperoleh hasil yang lebih representatif terhadap kondisi sebenarnya. Durasi pengambilan data juga sebaiknya diperpanjang hingga mencakup satu musim tanam penuh agar tren performa sensor dalam jangka panjang dapat dianalisis secara lebih mendalam. Penelitian selanjutnya juga disarankan untuk melibatkan lebih banyak jenis sensor dengan spesifikasi yang beragam, guna memperoleh perbandingan yang lebih luas terkait tingkat akurasi, responsivitas, serta daya tahan perangkat dalam lingkungan greenhouse.

5. REFERENSI

- Agustia, J., & Sudarti. (2024). Mekanisme Angin Pasat dan Angin Anti Pasat dan Dampak Pada Cuaca. *Jurnal Inovasi Pendidikan*, 6(1), 634–649. <https://doi.org/10.31172/bgb.v2i2.51%0A>
- Agustina, D. R., Vandika, A. Y., Susanty, W., Tanjung, T., & Nur Afiani, R. (2023). Implementasi Service Data untuk Pemantauan Lighting pada Smart Agriculture. *Digital Transformation Technology*, 3(2), 380–388. <https://doi.org/10.47709/digitech.v3i2.2851>
- Ardiansyah, Risnita, & Jailani, M. S. (2023). Teknik Pengumpulan Data Dan Instrumen Penelitian Ilmiah Pendidikan Pada Pendekatan Kualitatif dan Kuantitatif. *Jurnal IHSAN : Jurnal Pendidikan Islam*, 1(2), 1–9. <https://doi.org/10.61104/ihsan.v1i2.57>
- Ariani, M. (2014). Analisis Konsumsi Pangan Tingkat Masyarakat Mendukung Pencapaian Diversifikasi Pangan. *Gizi Indonesia*, 33(1), 20–28. <https://doi.org/10.36457/gizindo.v33i1.84>
- Chaduvula, K., kumar K., K., Markapudi, B. R., & Rathna Jyothi, C. (2021). Design and Implementation of IoT based flood alert monitoring system using microcontroller 8051. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.048>
- CNC STORE. (2023). *Meteran Suhu dan Kelembapan digital tempel*. https://shopee.co.id/Meteran-Suhu-dan-Kelembapan-digital-tempel-i.62956347.29065857908?sp_atk=8715e8a8-4c73-4486-ba0d-2dfabd9d555e&xptdk=8715e8a8-4c73-4486-ba0d-2dfabd9d555e
- Eni. (2025). *Prakiraan Cuaca Kota Tasikmalaya Hari Ini, Minggu 13 April 2025*. <https://Newstasikmalaya.Com/>. <https://newstasikmalaya.com/prakiraan-cuaca-kota-tasikmalaya-hari-ini-minggu-13-april-2025>
- Hermawan, R., Adhy, D. R., Arip, M., Maesaroh, S., & Mauhib, A. (2023). Pemanfaatan Sensor Curah Hujan Dan Debit Air Sungai Untuk Monitoring Banjir Berbasis Internet of Things. *Power Elektronik : Jurnal Orang Elektro*, 12(1), 62. <https://doi.org/10.30591/polektro.v12i1.4789>
- Hermawan, R., Adhy, D. R., Maesaroh, S., & Anggara, M. B. (2024). *Formulasi Penempatan Sensor Suhu Pada Green House*. 13(3), 342–350.
- Muskhir, M., Luthfi, A., & Fajri, D. H. (2024). *PENINGKATAN POTENSI EKONOMI KREATIF MASYARAKAT MELALUI Increasing the Creative Economic Potential of the Community through the Manufacture*. 11, 3098–3107.
- Nizar, T. N., Jatmiko, D. A., Hartono, R., & Kerlooza, Y. Y. (2024). *Komputika : Jurnal Sistem Komputer Kalibrasi Sensor Monitoring Cuaca pada Area Lokal untuk Meningkatkan Akurasi*

- pada Sensor Biaya Rendah Calibration of Weather Monitoring Sensors in Local Areas to Improve Accuracy in Low-Cost Sensors*. 13, 277–287. <https://doi.org/10.34010/komputika.v13i2.13949>
- Putratama, R. (2024). *Perubahan Iklim Mengancam Kehidupan Global*. Badan Meteorologi, Klimatologi, Dan Geofisika. <https://www.bmkg.go.id/berita/utama/perubahan-iklim-mengancam-kehidupan-global>
- Rahayu, S. A. (2024). Inovasi dalam Sektor Pertanian dan Dampaknya terhadap PDB. *Circle Archive*, 1(5), 1–13.
- REDDY, K. D. D. (2024). *SMART CARDBOARD PACKAGING*. July.
- Retno Devita, Hartika Zain, R., Ipriadi, Eka Putra, O., & Rahmawati, S. (2021). Teknologi Internet Of Things (IoT) dalam Penyemprotan Insektisida Aglonema pada Greenhouse. *Jurnal Teknologi*, 11(2), 36–43. <https://doi.org/10.35134/jitekin.v11i2.50>
- Rustami, E., Fitria Adiaty, R., Zuhri, M., & Arif Setiawan, A. (2022). Uji Karakteristik Sensor Suhu Dan Kelembaban Multi-Channel Menggunakan Platform Internet Of Things (IOT). *Berkala Fisika*, 25(2), 45–52. https://ejournal.undip.ac.id/index.php/berkala_fisika/article/view/47903
- Statistik, B. P. (2023). *Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia 2023*. Badan Pusat Statistik(BPS - Statistics Indonesia). <https://www.bps.go.id/id/pressrelease/2023/10/16/2037/luas-panen-dan-produksi-padi-di-indonesia-2023--angka-sementara-.html>
- Statistik, B. P. (2024). *Jumlah Penduduk Pertengahan Tahun (Ribuan Jiwa), 2022-2024*. Badan Pusat Statistik(BPS - Statistics Indonesia). <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTk3NSMy/jumlah-penduduk-pertengahan-tahun.html>
- Suadnya, I. W. (2020). *Mengkomunikasikan Ketidak Pastian : Tantangan Bagi Penyuluh Dalam*. Syafnidawaty. (2020). Jenis data penelitian. *Universitas Raharja*, 10(1), 31–40. <https://raharja.ac.id/2020/11/08/data-sekunder/>
- Syakiroh, M., Abdus, M., Jawwad, S., & Wijaya, R. (2024). *Forecasting Analysis of Clean Water Demand at PT . Kawasan Industri Gresik Using the Time Series Method*. 7(2), 173–184.
- Thombre, A. (n.d.). Comparison of decision trees with Local Interpretable Model-Agnostic Explanations (LIME) technique and multi-linear regression for explaining support vector regression model in terms of root mean square error (RMSE) values . 2024, 1–7.
- Wardani, I. K., Ichniarsyah, A. N., Telaumbanua, M., Priyonggo, B., Fil'Aini, R., Mufidah, Z., & Dewangga, D. A. (2023). The feasibility study: Accuracy and precision of DHT 22 in measuring the temperature and humidity in the greenhouse. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1230(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1230/1/012146>
- Yulis, N., Anhar, M. A., & Rombe, A. S. (2025). *Analisis Perbandingan Peramalan Penggunaan Bahan Baku Menggunakan Metode Weighted Moving Average (WMA) dan Evaluasi dengan Mean Absolute Error (MAE)*. XIV(1), 57–64.
- Zain, A. M. (2024). *Pemanfaatan Greenhouse Sebagai Potensi Desa Meningkatkan Produktivitas Pertanian Dan Kesejahteraan Masyarakat (Studi Kasus Desa Kedung Banteng Sukorejo Ponorogo)*. 591–600.