

e-ISSN : 3031-0342
Diterima: : 3 September 2025
Disetujui : 14 Desember 2025
Tersedia online di <https://journal.unram.ac.id/index.php/agent>

PEMANTAUAN SUHU DAN KELEMBAPAN DALAM GREENHOUSE PADA MEDIA TANAM BERBEDA MENGGUNAKAN ESP32 UNTUK BUDI DAYA TANAMAN BAYAM (*Amaranthus sp.*)

*Monitoring of Temperature and Humidity in a Greenhouse with Different Growing Media Using ESP32 for Spinach (*Amaranthus sp.*) Cultivation*

Raras Muliana^{1*}, Joko Sumarsono¹, Sirajuddin Haji Abdullah¹

¹Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri,
Universitas Mataram

email: mulianararas@gmail.com

ABSTRACT

*Spinach (*Amaranthus sp.*) is a nutritious leafy vegetable whose growth is strongly influenced by environmental temperature and humidity. The instability of these factors due to climate change requires accurate monitoring to support successful greenhouse cultivation. This study aimed to monitor air temperature, air humidity, and planting media conditions in a greenhouse using an ESP32-based microcontroller system. Three planting media were tested: garden soil, organic compost, and cocopeat, with spinach (*Amaranthus sp.*) as the research subject. The system used an SHT31 sensor for air temperature and humidity, a DS18B20 sensor for media temperature, and a SEN0308 sensor for media moisture. Data were displayed on a 20×4 LCD and automatically saved to an SD card every hour for 30 days. Results showed that air temperature ranged from 24°C to 35°C, peaking at midday. The highest media temperature, both maximum and average, occurred in organic compost (31.49°C), followed by garden soil and cocopeat. Air humidity ranged from 54% to 91%. Media moisture content was highest in cocopeat (364%), followed by organic compost (38%) and garden soil (28%). Garden soil produced the most optimal growth, with an average height of 31.35 cm and 62 leaves on day 29. Organic compost yielded similar growth (30.32 cm and 58 leaves), while cocopeat showed the lowest growth (11.7 cm and 9 leaves). These results indicate that garden soil and organic compost is more suitable for spinach cultivation in greenhouse systems compared to cocopeat.*

Keywords: ESP32; growing media; humidity; spinach; temperature

ABSTRAK

Bayam (*Amaranthus sp.*) merupakan sayuran daun bergizi yang pertumbuhannya sangat dipengaruhi oleh suhu dan kelembapan lingkungan. Ketidakstabilan dua faktor tersebut akibat perubahan iklim menuntut adanya pemantauan yang akurat untuk mendukung keberhasilan budi daya tanaman di *greenhouse*. Penelitian ini bertujuan untuk memantau suhu dan kelembapan udara serta media tanam dalam *greenhouse* menggunakan sistem berbasis mikrokontroler ESP32. Tiga jenis media tanam digunakan, yaitu tanah kebun, pupuk orkom, dan *cocopeat*, dengan tanaman bayam (*Amaranthus sp.*) sebagai objek penelitian. Sistem dilengkapi dengan sensor SHT31 untuk memantau suhu dan kelembapan udara, sensor DS18B20 untuk suhu media tanam,

serta sensor SEN0308 untuk kelembapan media tanam. Data ditampilkan melalui LCD 20×4 dan dicatat otomatis ke dalam *SD Card* dengan interval satu jam selama 30 hari. Hasil pemantauan menunjukkan suhu udara dalam *greenhouse* berkisar antara 24°C hingga 35°C, dengan suhu tertinggi pada siang hari. Suhu media tertinggi, baik berdasarkan nilai maksimum maupun rata-rata, tercatat pada pupuk orkom (31,49°C), diikuti tanah kebun dan *cocopeat*. Kelembapan udara berkisar antara 54% hingga 91%. Kelengasan media tertinggi ditemukan pada *cocopeat* (364%), kemudian pupuk orkom (38%), dan tanah kebun (28%). Tanah kebun menunjukkan pertumbuhan paling optimal, dengan rata-rata tinggi tanaman 31,35 cm dan 62 helai daun pada hari ke-29. Pupuk orkom menunjukkan performa pertumbuhan yang hampir setara, dengan rata-rata tinggi 30,32 cm dan 58 helai daun. Sementara itu, *cocopeat* menunjukkan pertumbuhan terendah (11,7 cm dan 9 helai daun). Hasil ini menunjukkan bahwa tanah kebun dan pupuk orkom lebih direkomendasikan sebagai media tanam bayam dalam sistem *greenhouse* dibandingkan *cocopeat*.

Kata kunci: ESP32; media tanam; kelembapan; bayam; suhu

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Bayam (*Amaranthus sp.*) merupakan sayuran daun bergizi tinggi yang populer di masyarakat. Bayam semula dikenal sebagai tanaman hias, kini bayam dikonsumsi sebagai sumber protein, vitamin A, C, B, serta mineral seperti kalsium, fosfor, dan besi. Daunnya dapat diolah menjadi berbagai masakan, dan memiliki manfaat kesehatan seperti mendukung fungsi ginjal dan pencernaan. Di Indonesia dikenal dua jenis utama bayam budi daya yaitu *Amaranthus tricolor*, ditanam sebagai bayam cabut dengan varietas hijau dan merah, serta *Amaranthus hybridus*, dikenal sebagai bayam kakap atau bayam petik (Wakerkwa *et al.*, 2017).

Pertumbuhan bayam sangat dipengaruhi oleh suhu dan kelembapan lingkungan. Suhu ekstrem mengganggu proses fisiologis tanaman seperti fotosintesis, respirasi, transpirasi, dan penyerapan nutrisi, sedangkan kelembapan rendah menyebabkan kekurangan air dan kelembapan tinggi memicu pembusukan akibat jamur atau bakteri (Ayu *et al.*, 2023). Bayam idealnya tumbuh di dataran rendah hingga menengah (5–2000 mdpl) dengan suhu 20–30°C, curah hujan 1.000–2.000 mm/tahun, kelembapan udara >60%, dan intensitas cahaya 400–800 *foot candles* (Anggraini, 2019).

Indonesia adalah negara agraris dan pertanian memegang peranan penting dalam perekonomian, baik sebagai sumber

pekerjaan maupun produk nasional. Namun, sektor ini rentan terhadap perubahan iklim (Anggraini, 2019). Stabilitas suhu dan kelembapan sangat penting untuk keberhasilan pertanian, sementara fluktuasi ekstrem dapat mengancam hasil dan kualitas produk, sehingga petani perlu menyesuaikan strategi mereka terhadap kondisi cuaca yang tidak menentu.

Perubahan iklim dan cuaca yang tidak menentu mendorong pengembangan teknologi pertanian modern, salah satunya *greenhouse* dengan sensor cerdas. Sensor ini memungkinkan pemantauan kondisi lingkungan tanaman secara *real-time* dengan akurasi tinggi, sehingga petani dapat mengelola lingkungan tumbuh secara tepat. Penerapan sensor cerdas di *greenhouse* meningkatkan efisiensi air dan energi, mengurangi biaya operasional, meningkatkan produktivitas dan kualitas tanaman, serta meminimalkan penggunaan bahan kimia berbahaya.

Pemilihan media tanam yang tepat sangat penting untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Media tanam harus mampu menyediakan nutrisi, air, dan udara yang cukup, serta memiliki drainase dan aerasi baik. Selain sebagai tempat akar tumbuh, media tanam juga menopang tajuk tanaman agar berdiri kokoh dan mendukung produktivitas budi daya.

Dalam penelitian ini, mikrokontroler ESP32 digunakan untuk alat pemantauan

suhu dan kelembapan. ESP32 merupakan penerus ESP8266 dengan keunggulan, antara lain jumlah GPIO pin lebih banyak (36 pin, termasuk 18 ADC dan 2 DAC, dibandingkan 17 pin pada ESP8266) dan *port USB* bawaan, sehingga dapat terhubung langsung ke komputer tanpa perangkat tambahan (Purnama & Sitohang, 2022).

Penggunaan ESP32 memungkinkan pemantauan suhu dan kelembapan di *greenhouse* dan tiga media tanam berbeda secara efisien, otomatis, dan terjangkau, sekaligus mengatasi fluktuasi kondisi, keterbatasan pengumpulan data, sumber daya, dan biaya. Oleh karena itu, penelitian tentang pemantauan lingkungan tumbuh pada budi daya tanaman bayam (*Amaranthus sp.*) menggunakan ESP32 perlu dilakukan.

Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Merancang sistem pemantau suhu dan kelembapan dalam *greenhouse* dengan media tanam berbeda untuk tanaman bayam (*Amaranthus sp.*).
2. Menganalisis kinerja alat pemantauan suhu dan kelembapan dalam *greenhouse* dengan media tanam yang berbeda pada budi daya tanaman bayam (*Amaranthus sp.*).
3. Menganalisis tingkat suhu dan kelembapan yang terbaca dalam *greenhouse* dengan media tanam berbeda pada budi daya tanaman bayam (*Amarantus sp.*).

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini di antaranya seperti ESP32, sensor SHT31, sensor DS18B20, sensor SEN0308, papan PCB bolong, adaptor *USB*, kabel *USB micro B*, kabel pelangi, *SD card module*, *SD card* 32 gb, RTC, *screw terminal block* 3 dan 4 pin, *single row header female*, *spacer* 1 cm, pin *header female*, resistor, LCD 20×4, *box* pelindung, laptop, solder, penyedot timah, gergaji, stop kontak, obeng, termometer air raksa, dan *software* Arduino

IDE. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *polybag* sebanyak 30 buah, media tanam (*cocopeat*, pupuk orkom, tanah kebun), dan 30 tanaman bayam umur 2 minggu.

Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode eksperimental untuk memantau suhu dan kelembapan yang ada dalam *greenhouse* dengan media tanam berbeda. Penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu persiapan alat dan bahan, perancangan rangkaian sistem pemantauan, perakitan rangkaian sistem pemantauan, pembuatan bahasa pemrograman, kalibrasi sensor, percobaan sistem pemantauan, persiapan tanaman bayam dan media tanam berbeda, pengambilan data suhu, kelembapan pada media tanam dan udara, pengamatan pertumbuhan tanaman bayam, dan pengolahan serta analisis data.

Parameter Penelitian

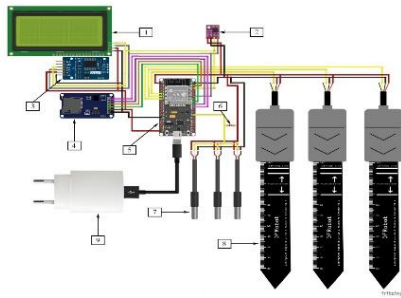
Beberapa parameter yang diukur dalam penelitian ini, yaitu:

1. Rancangan Alat
2. Cara Kerja Alat Pemantauan Suhu dan Kelembapan
3. Kalibrasi Sensor
4. Sistem Pemantauan Suhu dan Kelembapan
5. Pertumbuhan Tanaman Bayam

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancangan Alat

Perancangan alat pemantauan suhu dan kelembapan *greenhouse* dengan tiga media tanam difokuskan pada akurasi dan keberlanjutan. Penentuan posisi sensor, mikrokontroler, *display*, serta jalur kabel dirancang optimal untuk memastikan konektivitas, meminimalkan gangguan teknis, dan memudahkan perakitan maupun perawatan. Desain dibuat menggunakan *software fritzing*, seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain Rangkaian Sistem Pemantauan Suhu dan Kelembapan

keterangan gambar:

1. LCD 20×4
2. Sensor SHT31
3. RTC
4. SD Card Module
5. Mikrokontroler ESP32
6. Resistor
7. Sensor DS18b20
8. Sensor SEN0308
9. Adaptor USB

Gambar 1 menunjukkan rancangan sistem yang dirancang untuk memantau suhu dan kelembapan di dalam *greenhouse* serta pada tiga jenis media tanam secara *real-time*. Sensor SHT31 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara, sensor DS18b20 untuk mengukur suhu media tanam, dan sensor SEN0308 untuk mengukur kelembapan media tanam. Data dari ketiga sensor dikirim ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses, ditampilkan pada layar LCD, serta disimpan pada kartu SD dengan penanda waktu dari modul RTC. Sistem ini memungkinkan pemantauan langsung dan pencatatan data yang teratur untuk analisis kondisi lingkungan.

Kalibrasi Sensor

Kalibrasi adalah proses membandingkan hasil pengukuran alat dengan nilai acuan yang diketahui untuk memastikan ketertelusuran hingga standar nasional atau internasional. Langkah ini penting untuk meningkatkan akurasi dan keandalan sensor serta meminimalkan kesalahan pengukuran. Menurut Anonim (2021), tingkat kesesuaian hasil kalibrasi dinilai menggunakan koefisien determinasi (R^2) bernilai 0-1, dengan kategori kuat

(>0,67), sedang (0,33-0,67), dan lemah (0,19-0,33). Selain itu, tingkat kesalahan prediksi terhadap nilai aktual dihitung menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebagaimana dinyatakan oleh Pratama *et al.* (2023) pada Persamaan 1.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y - Y_t}{Y} \right| \times 100\% \quad (1)$$

)
keterangan:

Y = Nilai Aktual/Sebenarnya

Y_t = Nilai Prediksi/Terukur Sensor

n = Jumlah Data

Kategori akurasi MAPE: sangat baik (<10%), baik (10-20%), cukup (20-50%), dan buruk (>50%). MAPE digunakan untuk menilai tingkat akurasi sensor berdasarkan rata-rata persentase *error*.

1. Sensor SHT31

Kalibrasi sensor SHT31 dilakukan pada dua kondisi, yaitu suhu rendah menggunakan *showcase* pendingin dan suhu tinggi menggunakan *heat gun blower*. Pada suhu rendah, pengukuran dilakukan di tiga posisi rak (atas, tengah, bawah) sebanyak tiga kali ulangan berdurasi lima menit. Pada suhu tinggi, pengukuran dilakukan lima kali dengan interval dua menit selama 10 menit. Nilai referensi diperoleh dari termometer batang bola kering untuk suhu, serta kombinasi bola kering dan bola basah untuk kelembapan, yang dihitung menggunakan kalkulator kelembapan relatif berbasis *web*. Hasil kalibrasi disajikan dalam bentuk tabel dan grafik berikut:

Tabel 1. Kalibrasi SHT31 di *Showcase* Rak Atas

Hasil Kalibrasi Sensor SHT31	Pengulangan			Rata-rata
	1	2	3	
Suhu SHT31 (°C)	10,7	9,5	8,5	
Termometer Bola Kering (°C)	15	14	13	
Error Suhu (°C)	4,3	4,5	4,5	
MAPE (%) Suhu	28,67	32,14	34,62	31,81
Termometer Bola Basah (°C)	12	11	10	
RH SHT31 (%)	68	68	67	
RH Web (%)	68,1	67,0	65,9	
Error RH (%)	0,1	-1	-1,1	
MAPE (%) RH	0,15	1,50	1,67	1,11

Berdasarkan Tabel 1, MAPE suhu rata-rata sebesar 31,81% (kategori

cukup/layak) dan MAPE kelembapan 1,11% (sangat baik).

Tabel 2. Kalibrasi SHT31 di *Showcase Rak Tengah*

Hasil Kalibrasi Sensor SHT31	Pengulangan			Rata-rata
	1	2	3	
Suhu SHT31 (°C)	11,4	10,5	9,7	
Termometer Bola Kering (°C)	15	14	13	
Error Suhu (°C)	3,6	3,5	3,3	
MAPE (%) Suhu	24	25	25,38	24,79
Termometer Bola Basah (°C)	12	11	10	
RH SHT31 (%)	68	68	67	
RH Web (%)	68,1	67,0	65,9	
Error RH (%)	0,1	-1	-1,1	
MAPE (%) RH	0,15	1,50	1,67	1,11

Pada Tabel 2 menunjukkan MAPE suhu 24,79% (cukup/layak) dan MAPE kelembapan 1,11% (sangat baik).

Tabel 3. Kalibrasi SHT31 di *Showcase Rak Bawah*

Hasil Kalibrasi Sensor SHT31	Pengulangan			Rata-rata
	1	2	3	
Suhu SHT31 (°C)	13,1	12,5	12,0	
Termometer Bola Kering (°C)	16	15	15	
Error Suhu (°C)	2,9	2,5	3,0	
MAPE (%) Suhu	18,13	16,67	20	18,27
Termometer Bola Basah (°C)	13	12	12	
RH SHT31 (%)	69	68	66	
RH Web (%)	69,1	68,1	68,1	
Error RH (%)	0,1	0,1	2,1	
MAPE (%) RH	0,14	0,15	3,08	1,12

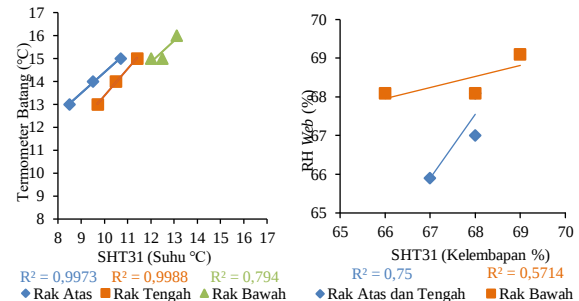
Pada Tabel 3, MAPE suhu 18,27% (baik) dan MAPE kelembapan 1,12% (sangat baik). Nilai MAPE suhu terendah terdapat pada rak bawah (Tabel 3), menunjukkan kinerja terbaik pada suhu di atas 12°C, sedangkan akurasi kelembapan sangat baik di semua posisi.

Tabel 4. Kalibrasi SHT31 Menggunakan *Heat Gun Blower*

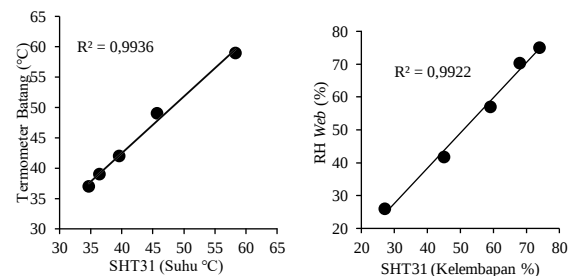
Hasil Kalibrasi Sensor SHT31	Pengulangan					Rata-rata
	1	2	3	4	5	
Suhu SHT31 (°C)	58,3	45,7	39,6	36,4	34,7	
Termometer Bola Kering (°C)	59	49	42	39	37	
Error Suhu (°C)	0,7	3,3	2,4	2,6	2,3	
MAPE (%) Suhu	1,19	6,73	5,71	6,67	6,22	5,30
Termometer Bola Basah (°C)	38	36	34	34	33	
RH SHT31 (%)	27	45	59	68	74	
RH Web (%)	25,9	41,7	57,0	70,3	75,0	
Error RH (%)	-1,1	-3,3	-2	2,3	1	
MAPE (%) RH	4,25	7,91	3,51	3,27	1,33	4,05

Hasil pada Tabel 4 menunjukkan rata-rata MAPE suhu 5,30% dan kelembapan relatif 4,05%, keduanya termasuk kategori sangat baik. Hal ini menandakan sensor

SHT31 andal dalam mendeteksi perubahan suhu dan kelembapan pada kondisi kalibrasi tersebut. Selain MAPE, grafik koefisien determinasi kalibrasi SHT31 ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Grafik R^2 Sensor SHT31 di *Showcase Pendingin*



Gambar 3. Grafik R^2 Sensor SHT31 dengan *Heat Gun Blower*

Berdasarkan grafik pada Gambar 2 kalibrasi SHT31 menunjukkan nilai R^2 suhu 0,794-0,9988 (kategori kuat) dan kelembapan 0,5714-0,75 (moderat-kuat). Pada grafik Gambar 3 di suhu ekstrem, R^2 suhu dan kelembapan masing-masing 0,9936 dan 0,9922 (kuat). Secara umum, nilai R^2 tinggi menandakan sensor stabil dan akurat mengikuti perubahan suhu serta kelembapan.

2. Sensor DS18B20

Kalibrasi sensor DS18B20 dilakukan dengan prosedur yang sama seperti SHT31. Hasil pembacaan sensor dan termometer batang pada kondisi suhu rendah dan tinggi disajikan berikut:

Tabel 5. Kalibrasi DS18B20 di *Showcase Rak Atas*

Hasil Kalibrasi Sensor DS18B20 (°C)	Pengulangan			Rata-rata
	1	2	3	
Nilai Sensor	11	9,7	8,7	
Termometer Batang (°C)	15	14	13	
Error	4	4,3	4,3	
MAPE (%)	26,67	30,71	33,08	30,15

Tabel 6. Kalibrasi DS18b20 di *Showcase* Rak Tengah

Hasil Kalibrasi Sensor DS18b20 (°C)	Pengulangan			Rata-rata
	1	2	3	
Nilai Sensor	11,5	10,5	9,7	
Termometer Batang (°C)	15	14	13	
Error	3,5	3,5	3,3	
MAPE (%)	23,3 3	25	25,3 8	24,5 7

Tabel 7. Kalibrasi DS18b20 di *Showcase* Rak Bawah

Hasil Kalibrasi Sensor DS18b20 (°C)	Pengulangan			Rata-rata
	1	2	3	
Nilai Sensor	12,8	12,2	11,6	
Termometer Batang (°C)	16	15	15	
Error	3,2	2,8	3,4	
MAPE (%)	20	18,6 7	22,6 7	20,4 5

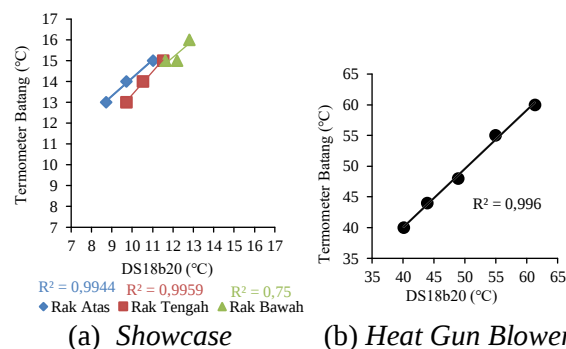
Berdasarkan Tabel 5-Tabel 7, nilai MAPE suhu sensor DS18b20 masing-masing adalah 30,15%, 24,57%, dan 20,45% (kategori cukup/layak). Performa terbaik ditunjukkan pada rak bawah (Tabel 7) dengan MAPE 20,45% pada suhu sekitar 12,8°C, 12,2°C, dan 11,9°C. Nilai ini mendekati kategori baik (10-20%) sehingga menunjukkan potensi kinerja lebih optimal pada suhu di atas 12°C.

Tabel 8. Kalibrasi DS18b20 Menggunakan *Heat Gun Blower*

Hasil Kalibrasi Sensor DS18b20 (°C)	Pengulangan					Rata-rata
	1	2	3	4	5	
Nilai Sensor	61,3	54,9	48,9	43,9	40,1	
Termometer Batang (°C)	60	55	48	44	40	
Error	-1,3	0,1	-0,9	0,1	-0,1	
MAPE (%)	2,1 7	0,1 8	1,8 8	0,2 3	0,2 5	0,94

Tabel 8 menunjukkan hasil kalibrasi sensor DS18b20 dengan suhu referensi 40-60°C. Selisih pembacaan sensor terhadap referensi sangat kecil, menghasilkan rata-rata MAPE 0,94% (kategori sangat baik). Hal ini membuktikan bahwa sensor DS18b20 andal dalam mendeteksi perubahan suhu pada kondisi kalibrasi tersebut.

Seperti pada sensor SHT31, selain MAPE, grafik koefisien determinasi kalibrasi DS18b20 ditunjukkan pada Gambar 4.

**Gambar 4.** Grafik R^2 Sensor DS18b20 di *Showcase* dan *Heat Gun Blower*

Pada Gambar 4a menunjukkan kalibrasi DS18b20 di *showcase* pendingin dengan R^2 0,9944-0,75 (kategori kuat), sedangkan pada Gambar 4b pada uji *heat gun blower* menghasilkan R^2 0,996 (kategori kuat). Nilai R^2 tinggi ini menunjukkan sensor DS18b20 memiliki hubungan erat dengan nilai referensi dan mampu mengikuti pola perubahan suhu secara konsisten, bahkan pada kondisi ekstrem.

3. Sensor SEN0308

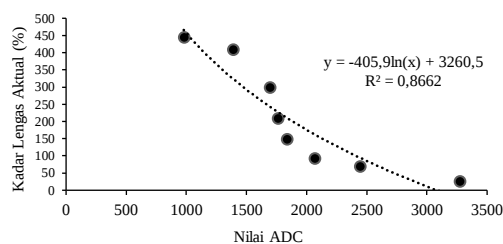
Radi *et al.* (2018) menyatakan bahwa sensor kelembapan kapasitif memerlukan kalibrasi gravimetri agar pembacaan sesuai kadar air sebenarnya. Metode ini mengeringkan sampel media tanam pada suhu 105°C selama 24 jam, lalu memodelkan hasilnya ke dalam persamaan matematis sesuai karakteristik media. Pada penelitian ini, kalibrasi sensor *media moisture* SEN0308 dilakukan dengan membandingkan hasil sensor (nilai ADC pada LCD) dan uji kelengkapan laboratorium di Universitas Mataram sebagai acuan. Hasil kalibrasi masing-masing media tanam disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Kalibrasi SEN0308

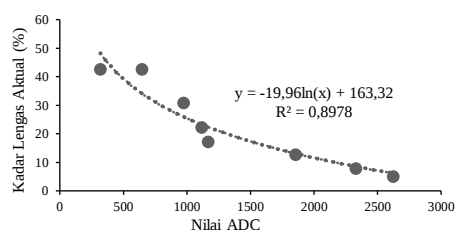
Media Tanam	Perlakuan	Nilai ADC	Kadar Lemas Aktual (%)
Cocopeat (Berat Total 700 g)	A (Kering)	3274,3	26,7
	B (130 ml)	2444	70,2
	C (310 ml)	2064,6	92,6
	D (610 ml)	1834,3	149,2
	E (960 ml)	1762	209,2
	F (1360 ml)	1696	300
	G (1810 ml)	1388	385,4
	H (2400 ml)	978	445,1
Pupuk Orkom (Berat Total 3 kg)	A (Kering)	2478	12,3
	B (50 ml)	2274	15,2
	C (150 ml)	1862,3	15,9
	D (300 ml)	1752	22,4
	E (500 ml)	1673,6	31,1
	F (7500 ml)	1405	38,7
	G (1050 ml)	737	46,4
	H (1100 ml)	579,6	47,6

Media Tanam	Perlakuan	Nilai ADC	Kadar Lemas Aktual (%)
Tanah Kebun (Berat Total 4 kg)	A (Kering)	2624,3	5,1
	B (100 ml)	2333	7,9
	C (250 ml)	1857,3	12,8
	D (450 ml)	1171	17,3
	E (700 ml)	1120	22,3
	F (1000 ml)	974,3	30,8
	G (1350 ml)	648	42,6
	H (1650 ml)	319,3	42,7

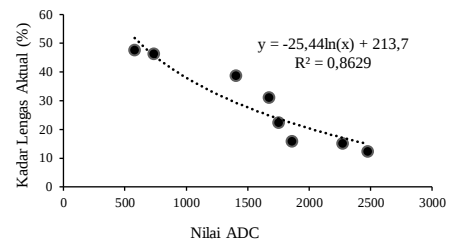
Tabel 9 menyajikan hasil pengujian sifat fisik tiga media tanam (*cocopeat*, pupuk orkom, tanah kebun) melalui metode oven dan pembacaan sensor SEN0308 (nilai ADC). Secara umum, nilai ADC menurun seiring peningkatan kadar lemas akibat penambahan air, menunjukkan sensor mampu mendeteksi perubahan kelembapan secara efektif. Pada kondisi awal tanpa air, nilai ADC tertinggi tercatat pada *cocopeat* (3274,3; 26,7%), pupuk orkom (2478; 12,3%), dan tanah kebun (2624,3; 5,1%). Pada kondisi akhir dengan penambahan air maksimum, nilai ADC turun signifikan menjadi 978; 579,6; dan 319,3, dengan kadar lemas masing-masing 445,1%, 47,6%, dan 42,7%. Kadar lemas *cocopeat* melebihi 100% karena sifatnya sebagai material superabsorben dengan struktur mikro berpori yang mampu menyerap lebih dari sepuluh kali berat keringnya (Siloinyanan *et al.*, 2024). Nilai kelembapan diperoleh menggunakan metode oven berbasis berat kering, sehingga bahan berdaya serap tinggi seperti *cocopeat* dapat menunjukkan persentase lebih 100%. Pemetaan hubungan nilai ADC dan kadar lemas ditampilkan pada Gambar 5-Gambar 7.



Gambar 5. Grafik Kalibrasi Sensor 1 *Cocopeat*



Gambar 6. Grafik Kalibrasi Sensor 2 Pupuk Orkom



Gambar 7. Grafik Kalibrasi Sensor 3 Tanah Kebun

Pada Gambar 5-Gambar 7 hubungan antara nilai ADC dan kadar lemas aktual (metode oven) dianalisis menggunakan regresi *non-linear* logaritmik. Hasil kalibrasi menghasilkan persamaan: *cocopeat* ($y = -405,9\ln(x) + 3260,5$, $R^2 = 0,8662$), pupuk orkom ($y = -25,44\ln(x) + 213,7$, $R^2 = 0,8629$), dan tanah kebun ($y = -19,96\ln(x) + 153,32$, $R^2 = 0,8978$). Nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan hubungan kuat dan konsistensi performa sensor dalam mendeteksi kelembapan tanah.

Akurasi sensor SEN0308 dievaluasi menggunakan MAPE, dengan nilai ADC yang dikonversi menjadi persentase melalui persamaan logaritmik lalu dibandingkan dengan kadar lemas aktual hasil oven. Nilai perhitungan MAPE sensor SEN0308 pada *cocopeat* sebesar 25,70% (kategori cukup), sedangkan pada pupuk orkom dan tanah kebun masing-masing 16,63% dan 14,11% (kategori baik). Nilai MAPE lebih tinggi pada *cocopeat* dikarenakan media ini bersifat organik dengan pori-pori dan daya serap air yang tinggi. Struktur ini memengaruhi pembacaan sensor kapasitif yang umumnya dikalibrasi untuk media tanah mineral, sehingga akurasinya sedikit menurun pada media *organic*. Untuk hasil perhitungan MAPE disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Perhitungan MAPE Sensor SEN0308

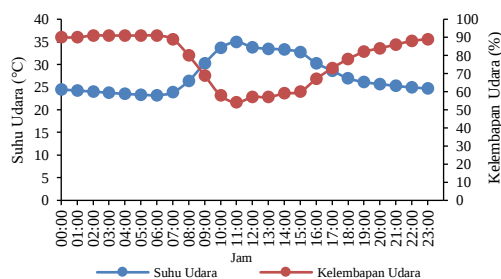
Media Tanam	Perlakuan	Nilai Sensor (%)	Kadar Lemas Aktual (%)	Error (%)	MAPE (%)
<i>Cocopeat</i>	A (Kering)	24,8	26,7	1,9	7,12
	B (130 ml)	93,9	70,2	-23,7	33,76
	C (310 ml)	162,4	92,6	-69,8	75,38
	D (610 ml)	210,4	149,2	-61,2	41,02
	E (960 ml)	226,7	209,2	-17,5	8,37
	F (1360 ml)	242,2	300	57,8	19,27
	G (1810 ml)	323,6	409,2	85,6	16,04
	H (2400 ml)	465,7	445,1	-20,6	4,63
Rata-rata MAPE:					25,70
Pupuk Orkom	A (Kering)	14,9	12,3	-2,6	21,14
	B (50 ml)	17,1	15,2	-1,9	12,5
	C (150 ml)	22,1	15,9	-6,2	39

Media Tanam	Perlakuan	Nilai Sensor (%)	Kadar Lengas Aktual (%)	Error (%)	MAPE (%)
	D (300 ml)	23,7	22,4	-1,3	5,8
	E (500 ml)	24,9	31,1	6,2	19,94
	F (750 ml)	29,3	38,7	9,4	24,29
	G (1050 ml)	45,7	46,4	0,7	1,51
	H (1100 ml)	51,8	47,6	-4,2	8,82
Rata-rata MAPE					16,63
Tanah Kebun	A (Kering)	6,2	5,1	-1,1	21,57
	B (100 ml)	8,5	7,9	-0,6	7,59
	C (250 ml)	13,1	12,8	-0,3	2,34
	D (450 ml)	22,3	17,3	-5	28,9
	E (700 ml)	23,2	22,3	-0,9	4,04
	F (1000 ml)	26	30,8	4,8	15,58
	G (1350 ml)	34,1	42,6	8,5	19,95
	H (1650 ml)	48,2	42,6	-5,7	12,88
Rata-rata MAPE					14,11

Hasil Pemantauan Suhu dan Kelembapan

1. Suhu dan Kelembapan Udara pada Greenhouse

Pemantauan suhu dan kelembapan udara dilakukan di dalam *greenhouse* pada ketinggian rata-rata kanopi tanaman agar data mencerminkan kondisi lingkungan yang dialami tanaman. Grafik rata-rata suhu dan kelembapan selama 30 hari, dengan pengambilan data setiap jam, ditunjukkan pada Gambar 8.



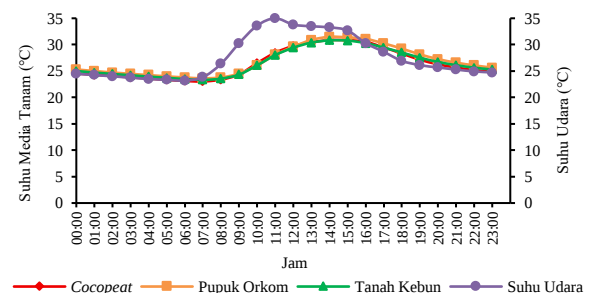
Gambar 8. Grafik Rata-rata Suhu dan Kelembapan Udara

Berdasarkan Gambar 8, suhu udara dalam *greenhouse* menunjukkan variasi harian yang signifikan, berkisar antara 23,21°C pada pukul 06.00 hingga 34,99°C pada pukul 11.00 WITA, dengan penurunan bertahap setelah pukul 14.00 seiring berkurangnya radiasi matahari. Kelembapan relatif menunjukkan pola berbanding terbalik, tertinggi sekitar 91% pada dini hari (02.00-06.00 WITA) dan terendah 54% saat suhu puncak siang hari.

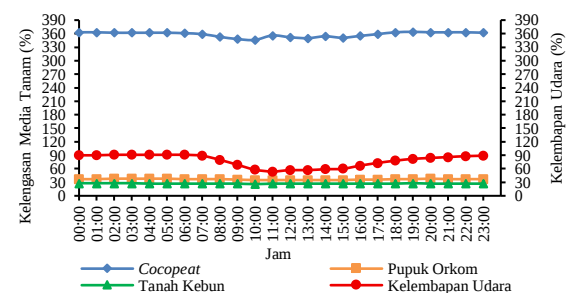
2. Suhu dan Kelengasan Media Tanam

Selain pemantauan suhu dan kelembapan udara, dilakukan pengukuran suhu dan kelengasan pada tiga jenis media tanam *cocopeat*, pupuk orkom, dan tanah kebun untuk mengevaluasi respons media

terhadap kondisi lingkungan dan performa sensor terhadap variasi kadar air. Data dikumpulkan tiap jam selama 30 hari dengan sensor pada kedalaman sama di tiap media. Suhu media tanam dibandingkan dengan suhu udara, sedangkan kelengasan media dibandingkan dengan kelembapan udara. Hasil perbandingan ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Grafik Rata-rata Suhu Media Tanam dan Suhu Udara



Gambar 10. Grafik Rata-rata Kelengasan Media Tanam dan Kelembapan Udara

Berdasarkan Gambar 9, suhu media tanam mengikuti pola suhu udara, tetapi fluktuasinya lebih lambat karena kapasitas panas media yang lebih besar. Suhu *cocopeat* berkisar 23,03-30,86°C, pupuk orkom 23,63-31,49°C, dan tanah kebun 23,33-30,82°C, dengan puncak antara pukul 12.00–15.00 WITA. Perbedaan antar media dipengaruhi kemampuan masing-masing menyerap dan menyimpan panas. Pada Gambar 10 menunjukkan kelengasan pada masing-masing media menunjukkan pola yang relatif stabil sepanjang hari dibandingkan kelembapan udara, yang berfluktuasi secara signifikan. Kelengasan media, menurun saat siang hari dan meningkat pada malam hari. *Cocopeat* memiliki kelengasan tertinggi (346-364%) dan mampu mempertahankan air, pupuk orkom stabil (35-38%), sedangkan

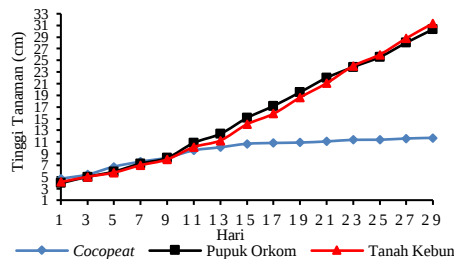
tanah kebun terendah (26-28%) dengan retensi air rendah.

Secara keseluruhan, media berpori seperti *cocopeat* mempertahankan kelengasan lebih baik tetapi sensitif terhadap suhu permukaan, pupuk orkom relatif stabil, dan tanah kebun cepat kehilangan air. Pola ini menunjukkan pengaruh langsung kondisi lingkungan terhadap media tanam dan penting dalam menganalisis performa sensor, karena pembacaan sensor dipengaruhi interaksi dengan media dan kondisi lingkungan.

Hasil Pertumbuhan Tanaman Bayam

1. Tinggi Tanaman

Tinggi tanaman bayam diukur dari pangkal batang hingga daun tertinggi, dengan daun dirapatkan saat pengukuran, menggunakan penggaris dan pita ukur. Grafik pertumbuhan tinggi tanaman bayam selama masa pengamatan ditunjukkan pada Gambar 11.



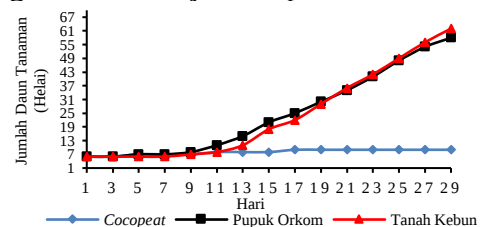
Gambar 11. Grafik Tinggi Tanaman Bayam

Berdasarkan grafik pada Gambar 11 menunjukkan hasil pengukuran menunjukkan perbedaan pertumbuhan signifikan antar media tanam. Data diperoleh dari rata-rata 10 tanaman per media. Pertumbuhan tanaman *cocopeat*: pertumbuhan lambat, tinggi rata-rata 4,69 cm pada hari ke-1 meningkat menjadi 11,7 cm pada hari ke-29, dengan pertumbuhan menurun setelah hari ke-15; pupuk orkom: pertumbuhan cepat, tinggi rata-rata 3,92 cm pada hari ke-1 menjadi 30,32 cm pada hari ke-29, menunjukkan media ini optimal untuk pertumbuhan bayam; tanah kebun: Pertumbuhan stabil, tinggi rata-rata 4,11 cm pada hari ke-1 mencapai 31,35 cm pada hari ke-29, hampir setara dengan pupuk orkom, dengan kenaikan yang merata dari awal hingga akhir pengamatan.

Secara keseluruhan, pupuk orkom dan tanah kebun mendukung pertumbuhan tinggi tanaman bayam lebih optimal dibanding *cocopeat*. *Cocopeat*, meski baik untuk menyimpan air, memiliki kandungan unsur hara rendah dan zat tanin yang dapat menghambat penyerapan nutrisi, sehingga pertumbuhan tanaman lebih terbatas (Irawan & Kafiar, 2015).

2. Jumlah Daun

Pengamatan jumlah daun tanaman bayam dilakukan dengan menghitung seluruh daun yang telah terbuka sempurna. Grafik jumlah daun tanaman bayam selama masa pengamatan ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Jumlah Daun Tanaman Bayam

Hasil pengamatan menunjukkan perbedaan signifikan antar media. Pada *cocopeat*, jumlah daun meningkat lambat, dari 6 helai pada hari ke-1-3 menjadi 7-8 helai pada hari ke-5-11, dan stagnan pada 9 helai hingga hari ke-29, mengindikasikan keterbatasan unsur hara, terutama nitrogen, dalam mendukung pertumbuhan daun. Sebaliknya, pupuk orkom menunjukkan pertumbuhan daun yang cepat. Jumlah daun meningkat dari 6 helai (hari ke-1-3) menjadi 11 helai (hari ke-11), 21 helai (hari ke-15), 35 helai (hari ke-21), dan mencapai 58 helai pada hari ke-29, menandakan ketersediaan nutrisi yang optimal untuk pembentukan daun. Tanah kebun juga mendukung pertumbuhan daun dengan baik. Meskipun awalnya stagnan (6 helai, hari ke-1-5), jumlah daun meningkat secara stabil mulai hari ke-9, mencapai 62 helai pada hari ke-29, sedikit lebih tinggi dibanding pupuk orkom, menunjukkan media ini mampu mendukung pertumbuhan vegetatif setelah fase awal.

Secara keseluruhan, pupuk orkom dan tanah kebun lebih efektif dibanding *cocopeat* dalam mendukung pertumbuhan daun dan

pertumbuhan. *Cocopeat* terbatas karena kandungan nitrogen rendah (0,14%) (Kamaluddin *et al.*, 2022), sehingga tidak optimal untuk pertumbuhan vegetatif tanaman.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat ditarik Kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem pemantauan suhu dan kelembapan *greenhouse* dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, dengan sensor SHT31 (udara), DS18B20 (media tanam), dan SEN0308 (kelembapan media). Sistem dilengkapi LCD untuk tampilan *real-time* dan modul penyimpanan (*microSD*) untuk merekam data secara berkala. Semua komponen bekerja sinkron, mengumpulkan data selama 24 jam sehari selama 30 hari, yang kemudian dianalisis untuk pertumbuhan tanaman bayam pada tiga media tanam.
2. Sistem pemantauan berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan sensor SHT31, DS18B20, dan SEN0308 mampu mengukur suhu dan kelembapan udara serta media tanam secara akurat, *real-time*, dan berkelanjutan. Data menunjukkan fluktuasi harian yang konsisten dengan fenomena fisik lingkungan, yaitu suhu meningkat pada siang hari disertai penurunan kelembapan, dan sebaliknya pada malam hingga pagi. Hasil ini menunjukkan sistem dapat digunakan untuk memantau kondisi lingkungan tumbuh pada budi daya tanaman bayam di *greenhouse* secara lebih terukur.
3. Selama penelitian, suhu udara *greenhouse* berkisar 24-35°C, tertinggi pada siang hari (11.00-14.00 WITA) dan menurun menjelang sore. Kelembapan udara berkisar 54-91%, tertinggi malam hingga dini hari, berbanding terbalik dengan fluktuasi suhu. Suhu media *cocopeat* lebih rendah dibanding pupuk orkom dan tanah kebun, sedangkan kelembapan tertinggi terdapat pada *cocopeat* ($\geq 350\%$), diikuti

pupuk orkom (35-38%) dan tanah kebun (27-28%). Pertumbuhan bayam paling optimal terjadi pada tanah kebun (tinggi 31,35 cm, 62 daun pada hari ke-29), pupuk orkom hampir setara, sedangkan *cocopeat* menunjukkan pertumbuhan terendah, akibat rendahnya kandungan unsur hara.

Saran

Adapun saran yang dapat saya berikan untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Disarankan menambah jumlah sensor pada setiap media tanam agar data lebih representatif terhadap kondisi seluruh tanaman.
2. Disarankan melakukan analisis statistik terhadap data suhu dan kelengasan media, serta parameter pertumbuhan untuk mengetahui signifikansi perbedaan antar media tanam.

DAFTAR REFERENSI

- Anggraini, R. (2019). Pengaruh Aplikasi Beberapa Jenis Pupuk Kandang Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Bayam (*Amaranthus tricolor* L.). *Jurnal Pertanian dan Pangan*, 1(1), 10–14.
- Anonim. (2021). *Memahami Koefisien Determinasi dalam Regresi Linear*. <https://accounting.binus.ac.id/2021/08/12/memahami-koefisien-determinasi-dalam-regresi-linear/>, [Accessed; 9-Jul-2025].
- Ayu, W. S., Falahuddin, M. A., Mitrakusuma, W. H., & Anggraeni, D. (2023). Pengaruh Variasi Kapasitas Pemanas terhadap Kondisi Suhu dan Kelembapan serta Durasi Pemanasan pada *Screenhouse* Berbasis *Evaporative Cooling System*. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 9(1), 75–83. <https://doi.org/10.31884/jtt.v9i1.461>
- Irawan, A., & Kafiari, Y. (2015). Pemanfaatan *Cocopeat* dan Arang Sekam Padi sebagai Media Tanam Bibit Cempaka Wasian (*Elmerrilia ovalis*). *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat*

- Biodiversitas Indonesia*, 1(4), 805–808.
<https://doi.org/10.13057/psnmbi/m010423>
- Kamaluddin, N. N., Hindersah, R., Cahyaningrum, D. N., Purba, P. S. J., Wibawa, D. I., & Setiawati, M. R. (2022). Karakterisasi Media Tanam dari Kombinasi *Cocopeat* dan Pupuk Kandang Ayam. *Soilrens*, 20(1), 16–24.
<https://doi.org/10.24198/soilrens.v20i1.41352>
- Pratama, M. N. R., Fitriyah, H., & Putri, R. R. M. (2023). Sistem Kendali Suhu dan Kelembapan Udara Tanaman *Microgreen* Kubis Menggunakan Metode Regresi Linear Berbasis Arduino. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 7(7), 3478–3486.
- Purnama, A., & Sitohang, S. (2022). Rancangan Bangun Sistem Keamanan Rumah Berbasis *IoT*. *Comasie*, 6(1), 78–87.
- Radi, Murtiningrum, Ngadisih, Muzdrikah, F. S., Nuha, M. S., & Rizqi, F. A. (2018). Calibration of Capacitive Soil Moisture Sensor (SKU:SEN0193). *Proceedings - 2018 4th International Conference on Science and Technology, ICST 2018*, 1(August), 1–6.
<https://doi.org/10.1109/ICSTC.2018.8528624>
- Siloinyenan, D. M., Supeno, & Siallagan, J. (2024). Campuran Gambut Sabut Kelapa (*Cocopeat*) dan Tanah sebagai Media Tumbuh yang Berdaya Tampung Air Tinggi Bagi Tanaman Tomat. *AVOGADRO Jurnal Kimia*, 8(1), 13–25.
- Wakerkwa, R., Tilaar, W., & Polii-Mandang, J. S. (2017). Aplikasi Pupuk Cair terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Bayam Merah (*Amaranthus sp.*). *Agri-Sosioekonomi*, 13(3A), 283–294.
<https://doi.org/10.35791/agrsosek.13.3a.2017.18292>