

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISA

5.1 Tujuan dan Prosedur Pengukuran dan Pengujian

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa sistem penyiraman otomatis berbasis ESP32 dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi yang telah dirancang. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi keakuratan pengambilan data dari sensor kelembapan tanah, suhu dan kelembapan udara, serta intensitas cahaya, guna mendukung metode prediktif maintenance berbasis *Moving Average*.

Selain itu, pengujian juga bertujuan untuk memastikan bahwa sistem dapat memprediksi kebutuhan penyiraman secara otomatis berdasarkan data sensor yang terkumpul, serta dapat mengaktifkan dan menonaktifkan pompa penyiraman melalui kendali MOSFET sesuai ambang batas kelembapan tanah yang telah ditentukan.

Pada tahap persiapan, alat dan sensor dipastikan dalam kondisi baik dan siap digunakan. Kalibrasi dilakukan pada sensor kelembapan tanah untuk memastikan bahwa pembacaan sensor akurat dan sesuai dengan kondisi nyata media tanam. Selanjutnya, pengambilan data dilakukan selama beberapa hari pada sistem pot pintar untuk mendapatkan dataset lengkap dari lingkungan yang dimonitor.

Setelah data terkumpul, analisis hasil dilakukan dengan membandingkan tren kelembapan tanah terhadap waktu menggunakan metode *Moving Average*. Data yang diperoleh dari sensor kemudian digunakan untuk memprediksi kebutuhan penyiraman pada periode waktu berikutnya. Selain itu, pengujian pengiriman data ke platform pemantauan seperti Blynk juga dilakukan untuk memverifikasi fungsionalitas monitoring jarak jauh. Berikut merupakan beberapa prosedur pengukuran dan pengujian:

1. Langkah pertama adalah menyusun gambar rangkaian alat dengan cermat serta menetapkan posisi dan tata letak setiap komponen yang diperlukan, seperti sensor

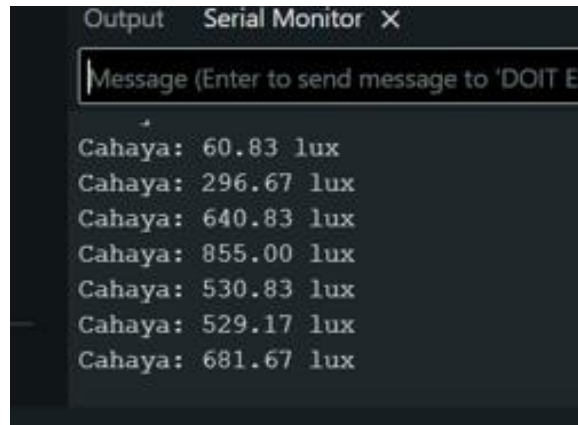
kelembapan tanah, sensor suhu/kelembapan udara (DHT22), sensor intensitas cahaya (BH1750), ESP32, serta pompa air dan MOSFET.

2. Semua peralatan yang akan digunakan, termasuk alat ukur cadangan seperti thermometer digital sebagai pembanding pembacaan sensor, harus dipersiapkan dan diperiksa secara menyeluruh. Pastikan bahwa semua alat berfungsi dengan baik dan siap untuk digunakan dalam proses pengambilan data.
3. Sistem alat diaktifkan, kemudian dilakukan pengambilan data secara otomatis dengan interval waktu setiap 30 menit selama minimal 4 hari. Data dari sensor disimpan dalam memori internal ESP32 menggunakan sistem file SPIFFS dan dikirim ke platform monitoring seperti Blynk.
4. Data yang telah terkumpul dianalisis menggunakan metode *Moving Average* untuk melihat tren perubahan kelembapan tanah. Hasil analisis digunakan untuk memprediksi waktu penyiraman berikutnya dan menentukan apakah sistem secara otomatis mengaktifkan pompa.
5. Pengujian terakhir dilakukan untuk mengevaluasi keakuratan prediksi serta kestabilan kerja sistem dalam kondisi lingkungan nyata. Hasil penyiraman otomatis dicatat, baik dari sisi waktu penyiraman maupun durasinya, lalu dibandingkan dengan kondisi aktual kelembapan tanah untuk memastikan bahwa sistem bekerja dengan efisien dan tepat waktu.

5.2 Pengujian Intensitas Cahaya BH1750

Pengujian sensor intensitas cahaya BH1750 dilakukan untuk memastikan bahwa sensor dapat membaca nilai pencahayaan lingkungan secara akurat dan stabil. Data dari sensor ini digunakan sebagai salah satu parameter dalam sistem pemeliharaan prediktif, khususnya untuk menganalisis hubungan antara intensitas

cahaya dengan kebutuhan penyiraman tanaman. Sensor BH1750 bekerja dengan satuan lux, yang merepresentasikan tingkat pencahayaan pada permukaan.



Gambar 5. 1 Pengujian lux

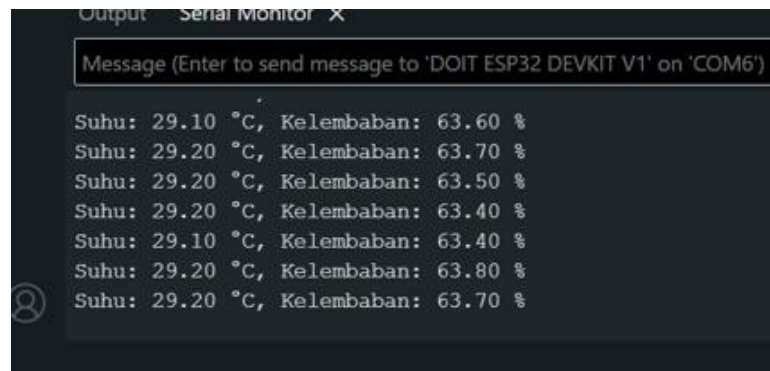
Tabel 5. 1 Pengujian Sensor Cahaya

Sensor BH1750	Luxmeter	Error
58.41 lux	58 lux	0.41
160.83 lux	160 lux	0.83
530.83 lux	580 lux	0.83

Pengujian dilakukan dengan memposisikan sensor pada beberapa kondisi pencahayaan berbeda. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai intensitas cahaya yang dibaca oleh sensor berkisar antara 300–600 lux dalam pencahayaan lampu ruangan, dan mendekati nol lux saat kondisi gelap.

5.3 Pengujian Sensor Suhu DHT22

Pengujian sensor DHT22 bertujuan untuk memastikan bahwa sensor dapat memberikan data suhu dan kelembapan udara secara akurat dan stabil. Sensor ini bekerja secara digital dan langsung memberikan output berupa nilai suhu (dalam °C) dan kelembapan relatif (dalam % RH) melalui komunikasi satu jalur (single wire). Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor DHT22 terhadap alat ukur standar berupa thermometer dan hygrometer digital dalam kondisi lingkungan yang sama.



Gambar 5. 2 Kalibrasi Sensor Suhu

Tabel 5. 2 Pengujian Sensor DHT22

Sensor DHT22	Humidity Meter	Error
24.14°C	24°C	0.14
25,20°C	25°C	0.2
28,10°C	28°C	0.1
29.20°C	29°C	0.2

Berdasarkan hasil yang diperoleh, sensor DHT22 menunjukkan nilai suhu berkisar antara 29.10 °C hingga 29.20 °C dan kelembapan antara 63.40% hingga 63.80%, yang relatif stabil dan mendekati nilai referensi. Dengan rentang fluktuasi yang kecil, dapat disimpulkan bahwa sensor ini bekerja dengan baik dan cukup akurat untuk digunakan dalam sistem penyiraman otomatis berbasis ESP32. Keakuratan data ini penting untuk mendukung pengambilan keputusan prediktif berdasarkan kondisi lingkungan mikro di sekitar tanaman.

5.4 Pengujian Sensor Soil Moisture

Pengujian sensor kelembapan tanah dilakukan untuk memastikan sensor dapat membaca perubahan kadar air pada media tanam. Sensor ditancapkan pada tanah dengan kondisi awal kering, kemudian diberikan penyiraman secara bertahap.

Tabel 5. 3 Pengujian Sensor Soil Moisture

Kondisi Tanah	Nilai ADC Sensor	Nilai Kelembapan (%)
Kering	3200	10%
Normal	2400	50%
Basah	1200	80%

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai ADC sensor meningkat seiring dengan bertambahnya kadar air tanah. Hal ini membuktikan bahwa sensor mampu mendeteksi perubahan kelembapan dan dapat digunakan sebagai masukan pada sistem penyiraman otomatis.

5.5 Pengujian Perubahan Kelembapan Alami

Pengujian pengumpulan data dilakukan di Jl. Banyuputih II No 15 pada tanggal 09 Juli 2025. Pengumpulan data dilakukan selama dua hari berturut-turut untuk

mengamati tren perubahan nilai kelembapan tanah secara alami tanpa dilakukan penyiraman. Tujuan dari pengumpulan data ini adalah untuk melihat bagaimana kelembapan tanah menurun seiring waktu akibat proses penguapan dan penyerapan oleh tanaman, sehingga dapat digunakan untuk membentuk dasar prediksi kebutuhan penyiraman berikutnya.

Pengambilan data dilakukan secara otomatis oleh sistem menggunakan sensor kelembapan tanah berbasis analog yang terhubung ke mikrokontroler ESP32. Data dicatat setiap 15 detik sekali dan dikirim ke platform pemantauan untuk kemudian dianalisis. Selama periode ini, kondisi lingkungan dibiarkan dalam keadaan normal tanpa intervensi seperti penyiraman buatan, sehingga perubahan nilai kelembapan mencerminkan proses alami yang terjadi pada media tanam.

Tabel 5. 4 Data 2 Hari Tiap 30 Menit

Waktu Pengambilan Data	Kelembapan Udara	Suhu Udara	Kelembapan Tanah	Lux
09/07/2025 07.45	48.7	37.0	93.0	2519.2
09/07/2025 08.00	49.6	35.5	79.0	3345.0
09/07/2025 08.30	49.3	32.9	75.0	3490.8
09/07/2025 09.00	46.0	34.2	74.0	3392.5
09/07/2025 09.30	50.2	31.4	78.0	3535.0
09/07/2025 10.00	50.0	32.4	77.0	3465.0
09/07/2025 10.30	51.2	32.1	77.0	1978.3
09/07/2025 11.00	51.0	32.5	76.0	1825.0
09/07/2025 11.30	48.6	32.9	75.0	1630.8
09/07/2025 12.00	48.7	33.0	76.0	1421.7
09/07/2025 12.30	45.2	33.4	74.0	1340.8
09/07/2025 13.00	46.9	33.6	74.0	1220.0

09/07/2025 13.30	47.4	33.9	75.0	1080.8
09/07/2025 14.00	48.0	33.3	74.0	929.2
09/07/2025 14.30	48.9	33.4	73.0	805.0
09/07/2025 15.00	48.3	33.3	74.0	665.8
09/07/2025 15.30	50.1	32.6	72.0	537.5
09/07/2025 16.00	50.1	31.9	75.0	401.7
09/07/2025 16.30	52.9	31.4	75.0	302.5
09/07/2025 17.00	55.6	30.2	77.0	160.8
09/07/2025 17.30	60.0	29.2	80.0	35.0
09/07/2025 18.00	62.5	28.8	80.0	4.2
09/07/2025 18.30	63.2	29.0	83.0	4.2
09/07/2025 19.00	63.6	28.9	83.0	4.2
09/07/2025 19.30	63.3	28.6	80.0	3.3
09/07/2025 20.00	64.7	28.5	84.0	4.2
09/07/2025 20.30	66.0	28.4	86.0	4.2
09/07/2025 21.00	66.9	28.2	86.0	4.2
09/07/2025 21.30	65.1	27.8	83.0	4.2
09/07/2025 22.00	67.4	27.6	84.0	4.2
09/07/2025 22.30	67.6	27.2	84.0	4.2
09/07/2025 23.00	69.5	26.9	85.0	4.2
09/07/2025 23.30	71.8	26.8	87.0	4.2
10/07/2025 00.00	72.7	26.6	86.0	3.3
10/07/2025 00.30	72.9	26.2	87.0	4.2
10/07/2025 01.00	74.7	26.4	87.0	4.2
10/07/2025 01.30	76.5	25.8	87.0	3.3
10/07/2025 02.00	75.5	25.8	86.0	3.3
10/07/2025 02.30	74.4	25.6	87.0	4.2

10/07/2025 03.00	75.1	25.5	88.0	4.2
10/07/2025 03.30	77.7	25.2	89.0	4.2
10/07/2025 04.00	78.5	25.2	87.0	4.2
10/07/2025 04.30	78.4	25.0	87.0	3.3
10/07/2025 05.00	77.8	24.8	87.0	3.3
10/07/2025 05.30	79.3	24.6	89.0	4.2
10/07/2025 06.00	78.4	24.7	87.0	60.0
10/07/2025 06.31	78.7	24.8	87.0	248.3
10/07/2025 07.00	75.1	25.7	84.0	634.2
10/07/2025 07.30	55.5	32.9	76.0	2001.7
10/07/2025 08.00	44.2	38.2	70.0	3332.5
10/07/2025 08.30	49.7	34.0	68.0	3528.3
10/07/2025 09.00	50.4	34.6	70.0	3672.5
10/07/2025 09.30	49.4	32.2	71.0	3762.5
10/07/2025 10.00	47.8	32.1	71.0	3767.5
10/07/2025 10.30	48.5	32.3	70.0	2290.8
10/07/2025 11.00	47.8	32.3	70.0	2114.2
10/07/2025 11.30	46.9	32.9	70.0	1895.8
10/07/2025 12.00	44.8	33.7	68.0	1697.5
10/07/2025 12.30	49.8	32.9	67.0	678.3
10/07/2025 13.00	50.2	33.0	64.0	792.5
10/07/2025 13.30	49.8	32.9	67.0	787.5
10/07/2025 14.00	50.0	32.8	66.0	768.3
10/07/2025 14.30	49.6	33.3	66.0	776.7
10/07/2025 15.00	49.3	33.2	66.0	776.7
10/07/2025 15.30	50.6	32.8	65.0	627.5
10/07/2025 16.00	50.1	32.4	65.0	495.8

10/07/2025 16.30	50.9	31.8	65.0	340.0
10/07/2025 17.00	52.1	30.9	66.0	145.8
10/07/2025 17.30	54.2	30.5	67.0	30.0
10/07/2025 18.00	54.3	30.0	70.0	4.2
10/07/2025 18.30	55.6	29.8	69.0	4.2
10/07/2025 19.00	59.9	29.5	71.0	4.2
10/07/2025 19.30	65.8	29.1	70.0	4.2
10/07/2025 19.30	66.4	29.0	70.0	4.2
10/07/2025 19.30	66.3	29.0	69.0	4.2
10/07/2025 20.00	69.1	28.7	71.0	5.0
10/07/2025 20.30	68.9	28.4	73.0	4.2
10/07/2025 21.00	70.3	28.3	73.0	4.2
10/07/2025 21.30	70.1	28.0	65.0	4.2
10/07/2025 22.00	71.2	27.9	63.0	4.2
10/07/2025 22.30	72.1	27.4	61.0	3.3
10/07/2025 23.00	71.7	27.2	51.0	4.2
10/07/2025 23.30	73.5	26.8	51.0	4.2
11/07/2025 00.00	73.2	26.6	51.0	4.2
11/07/2025 00.30	71.9	26.3	52.0	3.3
11/07/2025 01.00	71.8	26.2	52.0kan	3.3
11/07/2025 01.30	73.1	25.9	50.0	3.3
11/07/2025 02.00	72.7	25.7	48.0	3.3
11/07/2025 02.30	72.3	25.6	49.0	4.2
11/07/2025 03.00	71.8	25.7	49.0	4.2
11/07/2025 03.30	72.3	25.6	49.0	4.2
11/07/2025 04.00	71.9	25.6	48.0	3.3
11/07/2025 04.30	72.9	25.1	46.0	4.2

11/07/2025 05.00	72.4	25.1	46.0	4.2
11/07/2025 05.30	71.7	25.2	46.0	1.7
11/07/2025 06.00	70.8	25.1	45.0	50.0
11/07/2025 06.30	70.6	25.5	45.0	247.5
11/07/2025 07.00	67.5	26.2	44.0	585.8
11/07/2025 07.30	54.7	31.2	40.0	1579.2
11/07/2025 07.30	54.7	31.2	39.0	1587.5
11/07/2025 08.00	47.5	35.4	33.0	2687.5

Pengumpulan data dilakukan selama dua hari penuh, dimulai dari tanggal 09 Juli 2025 pukul 07.45 hingga 11 Juli 2025 pukul 06.30, dengan interval waktu pencatatan setiap 30 menit. Data yang dikumpulkan meliputi parameter lingkungan seperti kelembapan udara, suhu udara, intensitas cahaya (lux), dan yang menjadi fokus utama adalah kelembapan tanah, sebagai indikator kebutuhan air tanaman.

Pada awal pengambilan data, yaitu 09 Juli 2025 pukul 07.45, kelembapan tanah tercatat sebesar 93.0%, menunjukkan bahwa media tanam berada dalam kondisi sangat basah. Seiring berjalannya waktu, terjadi penurunan kelembapan tanah secara bertahap. Misalnya, pada malam hari tanggal 09 Juli 2025 pukul 23.30, kelembapan tanah turun menjadi 86.0%, dan keesokan paginya (10 Juli 2025 pukul 07.00), tercatat sebesar 85.0%.

Tren penurunan ini terus berlanjut hingga memasuki hari kedua. Pada 10 Juli 2025 pukul 15.30, kelembapan tanah tercatat sebesar 66.0%, dan mengalami penurunan signifikan pada malam harinya menjadi 51.0% (pukul 23.00). Data menunjukkan bahwa kelembapan tanah terus menurun hingga mencapai 45.0% pada 11 Juli 2025 pukul 06.30, mendekati batas bawah kelembapan yang umumnya memerlukan penyiraman ulang.

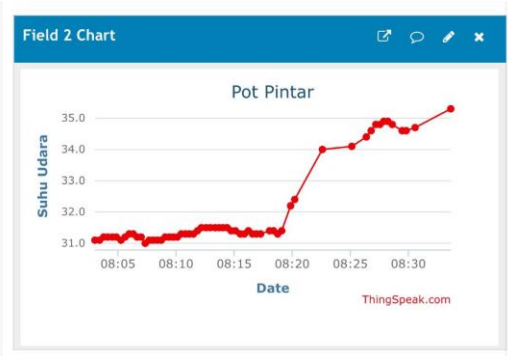
Data ini memperlihatkan tren penurunan yang cukup konsisten, terutama pada siang hari saat intensitas cahaya matahari meningkat dan suhu udara cenderung tinggi. Penurunan kelembapan tanah ini dapat dijadikan dasar untuk prediksi kebutuhan penyiraman otomatis, dengan asumsi bahwa jika tren seperti ini terus berlanjut, maka setelah dua hari tanpa penyiraman, tanah akan berada dalam kondisi kering dan tidak ideal bagi pertumbuhan tanaman

5.6 Pengujian Pengambilan Data ThinkSpeak.

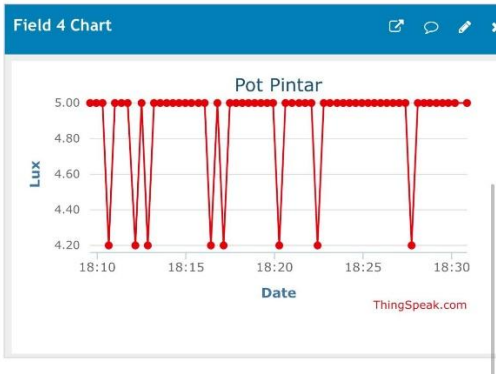
Untuk mendukung proses prediksi kebutuhan penyiraman tanaman, sistem pot pintar dirancang untuk mengirimkan data sensor secara berkala ke platform cloud ThingSpeak. Interval pencatatan data ditetapkan setiap 30 menit sekali, sehingga dalam sehari akan terekam sebanyak 48 data. Interval ini dipilih agar mampu merepresentasikan perubahan kelembapan tanah, suhu udara, kelembapan udara, dan intensitas cahaya secara akurat dalam skala waktu yang relevan terhadap kebutuhan tanaman.



Gambar 5. 3 Kelembapan Udara



Gambar 5. 4 Suhu Udara



Gambar 5. 5 Intensitas Cahaya



Gambar 5. 6 Kelembapan Tanah

Dengan rentang pengambilan data setiap 15 detik pengujian yang ideal setiap parameter setiap interval 30 menit pada data yang dikumpulkan selama dua hari penuh (96 data per parameter) cukup untuk membentuk pola tren yang akan digunakan dalam proses prediksi berbasis metode *Moving Average*. Pengiriman data secara otomatis dilakukan oleh mikrokontroler ESP32 yang telah terhubung ke jaringan Wi-Fi dan dikonfigurasi untuk mengakses API ThingSpeak menggunakan protokol HTTP. Data tersebut kemudian dapat dimonitor secara daring dan diunduh untuk dianalisis lebih lanjut menggunakan Microsoft Excel.

5.7 Perhitungan Data Menggunakan Moving Average

Pada pengambilan data selama 2 hari dengan interval 30 menit, nilai kelembapan tanah disusun kembali menggunakan 3 data terakhir untuk dihitung dengan metode *Moving Average*. Hasil prediksi kemudian dibandingkan dengan nilai aktual guna mengetahui tingkat akurasi, yang ditunjukkan melalui perhitungan nilai error. Perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5. 5 Data Moving Average

x1	x2	x3	y	y'	error
44,00	40,00	39,00	38,00	41,00	3,00
45,00	44,00	40,00	39,00	43,00	4,00
45,00	45,00	44,00	40,00	44,67	4,67
46,00	45,00	45,00	44,00	45,33	1,33
46,00	46,00	45,00	45,00	45,67	0,67
46,00	46,00	46,00	45,00	46,00	1,00
48,00	46,00	46,00	46,00	46,67	0,67
49,00	48,00	46,00	46,00	47,67	1,67
49,00	49,00	48,00	46,00	48,67	2,67

49,00	49,00	49,00	48,00	49,00	1,00
48,00	49,00	49,00	49,00	48,67	0,33
50,00	48,00	49,00	49,00	49,00	0,00
52,00	50,00	48,00	49,00	50,00	1,00
52,00	52,00	50,00	48,00	51,33	3,33
51,00	52,00	52,00	50,00	51,67	1,67
51,00	51,00	52,00	52,00	51,33	0,67
51,00	51,00	51,00	52,00	51,00	1,00
61,00	51,00	51,00	51,00	54,33	3,33
63,00	61,00	51,00	51,00	58,33	7,33
65,00	63,00	61,00	51,00	63,00	12,00
73,00	65,00	63,00	61,00	67,00	6,00
73,00	73,00	65,00	63,00	70,33	7,33
71,00	73,00	73,00	65,00	72,33	7,33
69,00	71,00	73,00	73,00	71,00	2,00
70,00	69,00	71,00	73,00	70,00	3,00
70,00	70,00	69,00	71,00	69,67	1,33
71,00	70,00	70,00	69,00	70,33	1,33
69,00	71,00	70,00	70,00	70,00	0,00
70,00	69,00	71,00	70,00	70,00	0,00
67,00	70,00	69,00	71,00	68,67	2,33
66,00	67,00	70,00	69,00	67,67	1,33
65,00	66,00	67,00	70,00	66,00	4,00
65,00	65,00	66,00	67,00	65,33	1,67
65,00	65,00	65,00	66,00	65,00	1,00
66,00	65,00	65,00	65,00	65,33	0,33
66,00	66,00	65,00	65,00	65,67	0,67

66,00	66,00	66,00	65,00	66,00	1,00
67,00	66,00	66,00	66,00	66,33	0,33
64,00	67,00	66,00	66,00	65,67	0,33
67,00	64,00	67,00	66,00	66,00	0,00
68,00	67,00	64,00	67,00	66,33	0,67
70,00	68,00	67,00	64,00	68,33	4,33
70,00	70,00	68,00	67,00	69,33	2,33
70,00	70,00	70,00	68,00	70,00	2,00
71,00	70,00	70,00	70,00	70,33	0,33
71,00	71,00	70,00	70,00	70,67	0,67
70,00	71,00	71,00	70,00	70,67	0,67
68,00	70,00	71,00	71,00	69,67	1,33
70,00	68,00	70,00	71,00	69,33	1,67
76,00	70,00	68,00	70,00	71,33	1,33
84,00	76,00	70,00	68,00	76,67	8,67
87,00	84,00	76,00	70,00	82,33	12,33
87,00	87,00	84,00	76,00	86,00	10,00
89,00	87,00	87,00	84,00	87,67	3,67
87,00	89,00	87,00	87,00	87,67	0,67
87,00	87,00	89,00	87,00	87,67	0,67
87,00	87,00	87,00	89,00	87,00	2,00
89,00	87,00	87,00	87,00	87,67	0,67
88,00	89,00	87,00	87,00	88,00	1,00
87,00	88,00	89,00	87,00	88,00	1,00
86,00	87,00	88,00	89,00	87,00	2,00
87,00	86,00	87,00	88,00	86,67	1,33
87,00	87,00	86,00	87,00	86,67	0,33

87,00	87,00	87,00	86,00	87,00	1,00
86,00	87,00	87,00	87,00	86,67	0,33
87,00	86,00	87,00	87,00	86,67	0,33
85,00	87,00	86,00	87,00	86,00	1,00
84,00	85,00	87,00	86,00	85,33	0,67
84,00	84,00	85,00	87,00	84,33	2,67
83,00	84,00	84,00	85,00	83,67	1,33
86,00	83,00	84,00	84,00	84,33	0,33
86,00	86,00	83,00	84,00	85,00	1,00
84,00	86,00	86,00	83,00	85,33	2,33
80,00	84,00	86,00	86,00	83,33	2,67
83,00	80,00	84,00	86,00	82,33	3,67
83,00	83,00	80,00	84,00	82,00	2,00
80,00	83,00	83,00	80,00	82,00	2,00
80,00	80,00	83,00	83,00	81,00	2,00
77,00	80,00	80,00	83,00	79,00	4,00
75,00	77,00	80,00	80,00	77,33	2,67
75,00	75,00	77,00	80,00	75,67	4,33
72,00	75,00	75,00	77,00	74,00	3,00
74,00	72,00	75,00	75,00	73,67	1,33
73,00	74,00	72,00	75,00	73,00	2,00
74,00	73,00	74,00	72,00	73,67	1,67
75,00	74,00	73,00	74,00	74,00	0,00
74,00	75,00	74,00	73,00	74,33	1,33
74,00	74,00	75,00	74,00	74,33	0,33
76,00	74,00	74,00	75,00	74,67	0,33
75,00	76,00	74,00	74,00	75,00	1,00

76,00	75,00	76,00	74,00	75,67	1,67
77,00	76,00	75,00	76,00	76,00	0,00
77,00	77,00	76,00	75,00	76,67	1,67
78,00	77,00	77,00	76,00	77,33	1,33
74,00	78,00	77,00	77,00	76,33	0,67
75,00	74,00	78,00	77,00	75,67	1,33
79,00	75,00	74,00	78,00	76,00	2,00
93,00	79,00	75,00	74,00	82,33	8,33
				rata-rata	2,24

Keterangan :

- X_1 = Kelembapan sebelumnya (-60 menit)
- X_2 = Kelembapan sebelumnya (-30 menit)
- X_3 = Kelembapan saat ini
- Y = Nilai aktual kelembapan tanah hasil pengukuran pada waktu berikutnya (+30 menit)
- Y' = Nilai prediksi kelembapan tanah menggunakan metode *Moving Average*.

Perhitungan pada tabel di atas menggunakan metode *Moving Average* dengan periode 3 data (x_1, x_2, x_3). Metode ini digunakan untuk memprediksi nilai kelembapan tanah pada saat berikutnya (y') berdasarkan rata-rata dari tiga data sebelumnya.

Dari hasil perhitungan terlihat bahwa nilai error bervariasi tergantung perubahan kelembapan pada data aktual. Nilai error yang kecil menunjukkan bahwa prediksi cukup akurat, sedangkan nilai error yang besar menunjukkan adanya perubahan kelembapan yang tidak terprediksi dengan baik oleh model *Moving Average*.

Perhitungan ini penting untuk mengetahui tingkat akurasi metode *Moving Average* dalam memprediksi kelembapan tanah. Semakin kecil rata-rata error, semakin baik metode ini untuk digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan penyiraman otomatis pada sistem pot pintar.

5.8 Pengujian Aktuator Pompa

Untuk mengetahui kinerja aktuator pompa dalam sistem penyiraman otomatis, dilakukan pengujian dengan menyalakan pompa selama 20 detik. Pengujian ini bertujuan untuk melihat seberapa besar perubahan nilai kelembapan tanah yang terjadi setiap detik ketika pompa beroperasi. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 5.5.

Tabel 5. 6 Pengujian Pompa Menyala

Pengujian 20 Detik	Kelembapan
1 detik	36,38
2 detik	37,15
3 detik	38,62
4 detik	39,92
5 detik	40,15
6 detik	40,23
7 detik	40,46
8 detik	40,48
9 detik	40,69
10 detik	41,46
11 detik	41,53
12 detik	41,93
13 detik	42,11
14 detik	42,13
15 detik	43,46
16 detik	43,15
17 detik	43,32
18 detik	45,46
19 detik	46,28
20 detik	47,61

Menyalakan pompa selama 20 detik mampu mengangkat kelembapan tanah ke rentang aman 40–70%, sehingga media tidak masuk fase kekeringan. Pada uji yang kamu tunjukkan, kelembapan naik dari ~36% menjadi ~48% dalam 20 detik—artinya sudah masuk zona aman ($\geq 40\%$). Angka pastinya bisa berbeda tergantung media tanam, debit pompa, dan posisi sensor, tapi sebagai acuan praktis, 20 detik efektif untuk mengembalikan kelembapan ke rentang aman sebelum kering.

Dengan adanya prediksi, pompa air tidak bekerja terlalu sering akibat fluktuasi data sensor sesaat. Sistem hanya mengaktifkan pompa pada saat prediksi menunjukkan kebutuhan nyata. Hal ini mengurangi frekuensi nyala-mati pompa (switching) yang berlebihan, sehingga memperpanjang umur pompa karena komponen mekanis dan elektroniknya tidak cepat aus.

5.9 Pengujian Predictive Maintenance dalam Sistem Penyiraman

Berdasarkan hasil pengujian metode Moving Average sebelumnya, diperoleh nilai error rata-rata sebesar 2,24%. Dengan mempertimbangkan nilai error tersebut, maka ambang batas kelembapan tanah (threshold) menjadi 43% agar sistem dapat bekerja lebih akurat. Penerapan predictive maintenance pada sistem penyiraman kemudian dilakukan dengan acuan nilai threshold ini. Dengan demikian, pompa akan aktif ketika hasil prediksi kelembapan berada pada atau di bawah 43%. Hasil pengujian penerapan metode prediktif ditunjukkan pada Tabel 5.6.

Tabel 5. 7 Percobaan Penerapan Metode Prediktif

Waktu	Kelembapan Tanah	Prediksi Kelembapan
12.00	48,2	0
12.30	48,2	48,2
13.00	48,2	48,2
13.30	48	48,2
14.00	48	48,1
14.30	47,7	48
15.00	47,6	47,9

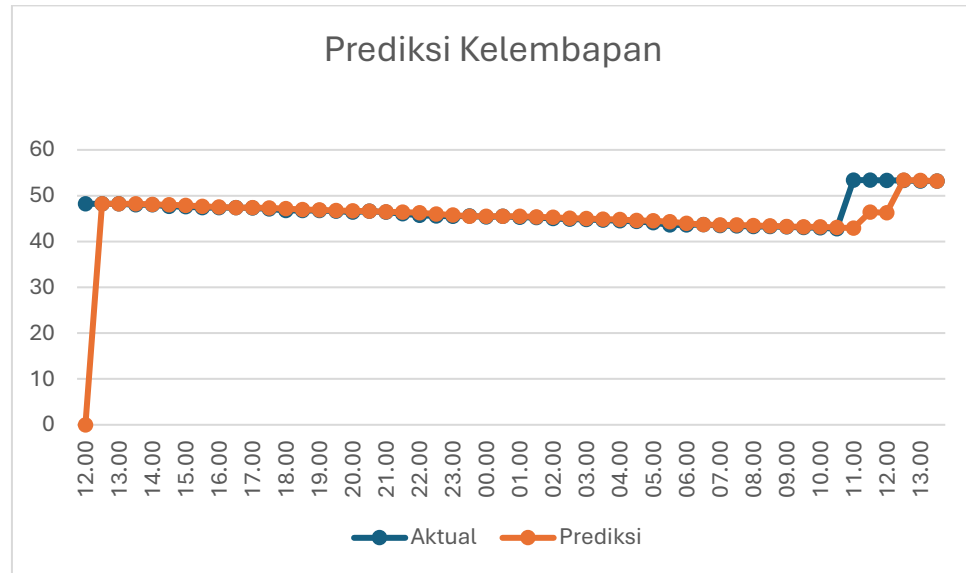
15.30	47,4	47,7
16.00	47,4	47,5
16.30	47,4	47,4
17.00	47,3	47,4
17.30	47,1	47,3
18.00	46,8	47,2
18.30	46,8	47
19.00	46,8	46,9
19.30	46,6	46,8
20.00	46,4	46,7
20.30	46,6	46,6
21.00	46,4	46,5
21.30	46,1	46,4
22.00	45,7	46,3
22.30	45,6	46
23.00	45,5	45,8
23.30	45,6	45,5
00.00	45,4	45,5
00.30	45,5	45,5
01.00	45,3	45,5
01.30	45,2	45,4
02.00	45	45,3
02.30	44,9	45,1
03.00	44,8	45
03.30	44,7	44,9
04.00	44,5	44,8
04.30	44,4	44,6
05.00	44,1	44,5
05.30	43,6	44,3
06.00	43,6	44
06.30	43,7	43,7
07.00	43,5	43,6
07.30	43,4	43,6
08.00	43,3	43,5
08.30	43,3	43,4
09.00	43,2	43,3
09.30	43,1	43,2
10.00	43	43,2
10.30	42,8	43,1

11.00	53,4	42,9
11.30	53,4	46,4
12.00	53,3	46,3
12.30	53,3	53,4
13.00	53,2	53,3
13.30	53,2	53,2

Berdasarkan hasil penerapan sistem penyiraman otomatis yang diuji dengan interval pembacaan sensor setiap 30 menit, diperoleh data kelembapan tanah aktual serta hasil prediksi menggunakan metode *Simple Moving Average* (SMA-3). Secara umum, pola pergerakan nilai prediksi mengikuti tren aktual kelembapan tanah. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma prediksi mampu bekerja sesuai dengan rancangan, yaitu memberikan sinyal penyiraman ketika kondisi kelembapan mendekati batas ambang yang ditentukan.

Pada periode awal pengujian (pukul 12.00–14.00), nilai prediksi kelembapan cenderung mendekati nilai aktual dengan selisih relatif kecil ($\pm 0,2$ – $0,5\%$). Perbedaan ini masih dapat ditoleransi karena metode SMA-3 memang dirancang untuk meredam fluktuasi sesaat dari sensor, sehingga nilai yang dihasilkan lebih halus (*smoothed*). Misalnya, pada pukul 13.30 kelembapan tanah aktual tercatat 48,0%, sementara nilai prediksi sebesar 48,2%. Selisih sebesar 0,2% ini tidak mengganggu fungsi sistem, melainkan justru membuat prediksi lebih stabil untuk kebutuhan kendali.

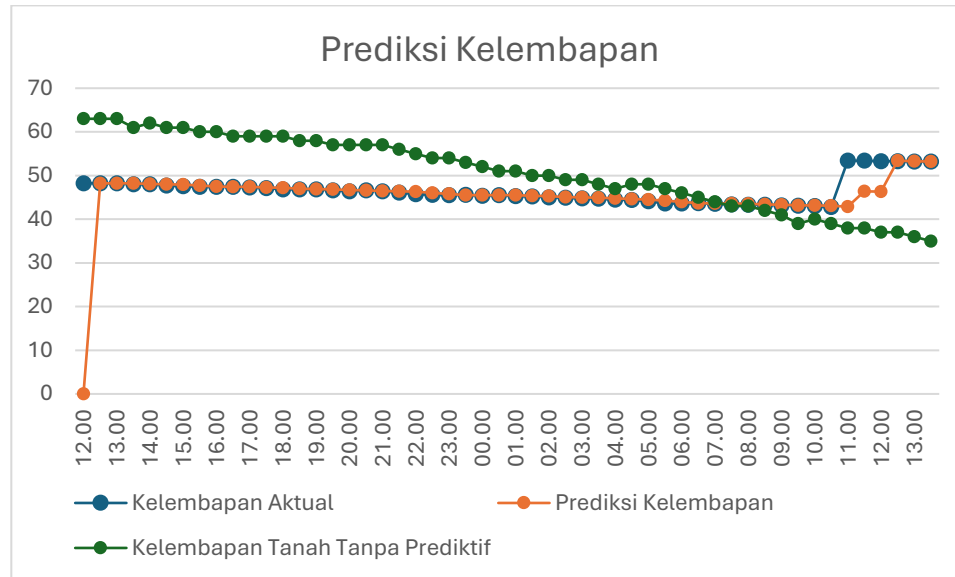
Menjelang kondisi tanah semakin kering (pukul 15.00–22.30), prediksi tetap mengikuti tren penurunan kelembapan hingga mendekati nilai ambang batas yang telah ditetapkan, yaitu 43%. Pada pukul 10.30 sistem memprediksi 30 menit yang akan datang yaitu 11.00 kelembapan mencapai 42,9%. Kondisi ini secara otomatis memicu aktivasi pompa air, sehingga kelembapan tanah meningkat signifikan dari 42,8% menjadi 53,4%. Respon sistem ini membuktikan bahwa prediksi mampu bekerja secara antisipatif, dengan menyalakan pompa sebelum kelembapan aktual benar-benar jatuh di bawah ambang batas kritis.



Gambar 5. 7 Grafik Prediksi Kelembapan

Grafik menunjukkan perbandingan antara nilai aktual kelembapan tanah dengan hasil prediksi menggunakan metode Moving Average. Secara umum, kedua garis memiliki pola yang hampir sama, di mana kelembapan mengalami penurunan secara bertahap hingga mencapai ambang batas 42%. Pada saat nilai prediksi mencapai ambang tersebut, sistem otomatis mengaktifkan pompa air sehingga kelembapan tanah kembali meningkat dan stabil pada kisaran 50–52%. Perbedaan antara nilai prediksi dan aktual relatif kecil, yang membuktikan bahwa metode Moving Average cukup akurat dan efektif dalam mendukung penyiraman otomatis.

Secara keseluruhan, pengujian menunjukkan bahwa metode prediksi berbasis *Simple Moving Average* dapat berfungsi dengan baik dalam memperkirakan kelembapan tanah mendekati ambang batas penyiraman. Sistem penyiraman otomatis dapat diaktifkan ketika prediksi sudah berada di bawah ambang batas (40–43%), sehingga tanaman tidak sampai mengalami kekeringan. Dengan kata lain, meskipun terdapat beberapa gangguan data, tingkat akurasi prediksi masih dapat diterima dengan persentase kesalahan rata-rata di bawah 2,5%.

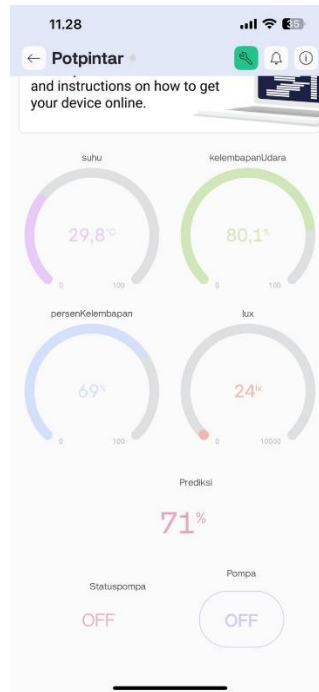


Gambar 5. 8 Grafik Kelembapan Tanah

Gambar di atas menampilkan grafik hubungan antara nilai aktual kelembapan tanah, hasil prediksi kelembapan dengan metode moving average, serta data kelembapan tanah yang diperoleh dari sensor. Nilai aktual merepresentasikan hasil pengukuran langsung dari sensor pada tiap interval waktu. Hasil prediksi dihitung berdasarkan rata-rata bergerak dari data sebelumnya sehingga menghasilkan nilai yang lebih halus dan stabil. Sementara itu, kelembapan tanah menggambarkan kondisi nyata penurunan kelembapan tanah secara alami. Dari grafik terlihat bahwa nilai prediksi cukup mendekati nilai aktual, dengan tren perubahan kelembapan tanah yang relatif konsisten mengikuti pola data sensor. Hal ini menunjukkan bahwa metode moving average mampu memberikan estimasi kelembapan yang cukup baik untuk mendukung proses pengambilan keputusan dalam sistem irigasi otomatis.

5.10 Pemantauan Jarak Jauh Melalui Blynk

Pengujian ini bertujuan memastikan monitoring jarak jauh melalui aplikasi Blynk di smartphone dapat menampilkan data sensor dan status aktuator secara real-time serta merekam perubahan saat penyiraman otomatis berlangsung.



Gambar 5. 9 Monitoring Blynk

Pada halaman utama aplikasi (template Potpintar), pengguna melihat empat meter indikator untuk suhu udara, kelembapan udara, persenKelembapan (kelembapan tanah), dan lux (intensitas cahaya). Keempat nilai ini dikirim dari ESP32 ke Blynk melalui virtual pin V0–V3 dan diperbarui setiap ± 5 detik, sehingga pembacaan pada ponsel terasa real-time. Rentang skala disesuaikan dengan satuan masing-masing: suhu 0–100 °C, kelembapan udara dan kelembapan tanah 0–100 %, serta lux 0–10.000 lx. Contoh pada gambar: suhu 29,8 °C, kelembapan udara 80,1 %, kelembapan tanah 69 %, dan lux 24 lx—memberikan gambaran mikroklimat di sekitar tanaman.

Di bawahnya terdapat widget Prediksi (V4) yang menampilkan hasil perhitungan Moving Average 3 titik terhadap tiga data kelembapan tanah terakhir. Nilai ini diperbarui setiap 30 menit (saat sistem menambahkan sampel baru), bukan tiap detik, sehingga lebih stabil untuk dasar keputusan penyiraman. Pada contoh, prediksi bernilai 71 %, artinya kelembapan diperkirakan tetap aman di atas ambang kering yang ditetapkan.

Bagian kontrol menampilkan Statuspompa (V5) berupa teks ON/OFF yang dikirim balik dari ESP32, serta tombol Pompa (V6) sebagai manual override. Saat tombol diubah ke ON, perintah dikirim ke perangkat untuk menyalakan pompa; ketika dikembalikan ke OFF, pompa dimatikan. Kendali otomatis tetap berjalan di perangkat (berdasarkan prediksi dan ambang), sedangkan kontrol manual memberi fleksibilitas ketika pengguna ingin menyiram di luar jadwal.

Dengan susunan widget tersebut, aplikasi Blynk memudahkan pemantauan kondisi lingkungan dan status aktuator secara real-time, sekaligus menyediakan kontrol jarak jauh yang terintegrasi dengan logika prediktif di mikrokontroler. Ini mendukung pengambilan keputusan yang cepat serta meminimalkan penyiraman berlebih atau terlambat.