

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian

Pengujian sistem penyiraman air dan penyemprotan pestisida otomatis berbasis Arduino Uno dan *soil moisture* sensor pada tanaman cabai menunjukkan hasil yang sangat memuaskan. Sistem ini tidak hanya berhasil menjaga kelembaban tanah dan menyemprotkan pestisida sesuai jadwal, tetapi juga menjaga efisiensi air yang terpakai dan produktivitas tanaman. Pengujian yang dilakukan yaitu :

1. Pengujian sensor *soil moisture*

Pengujian sensor *soil moisture* DFRobot dilakukan untuk mengevaluasi performa sensor dalam mendeteksi tingkat kelembapan tanah. Media uji berupa tanah dengan kelembapan berbeda (kering, lembab, dan basah), serta perangkat lunak Arduino IDE untuk membaca dan menganalisis data. Pengujian diawali dengan kalibrasi sensor untuk mendapatkan nilai referensi kondisi kering dan basah. Sensor dimasukkan ke tanah kering, kemudian nilai keluarannya dicatat sebagai referensi kondisi kering. Pengujian ini juga mencakup evaluasi stabilitas pembacaan sensor, sensitivitas terhadap berbagai kadar kelembapan, serta konsistensinya pada berbagai jenis tanah. Hasil pengujian ini menjadi dasar untuk menentukan akurasi sensor dan memastikan keandalannya sebelum digunakan.

2. Pengujian relay

Pengujian relay dilakukan untuk memastikan bahwa komponen ini berfungsi dengan baik dalam mengendalikan aliran arus listrik pada rangkaian elektronik atau listrik. Proses pengujian dimulai dengan menyiapkan relay, sumber daya (seperti baterai atau power supply), perangkat pengontrol (Arduino), serta beban listrik yang akan dikendalikan (pompa 12 V). Pengujian dilakukan dengan memeriksa koneksi pada pin relay, yaitu pin koil (untuk mengaktifkan relay) dan pin kontak (NO, NC, dan COM) setelahnya dilanjutkan dengan mengukur konektivitas pada pin kontak menggunakan multimeter untuk memastikan bahwa pin NO (*Normally*

Open) terhubung dengan pin COM (Common) saat relay aktif, dan pin NC (*Normally Closed*) terputus.

3. Pengujian pompa

Pengujian pompa air dilakukan untuk memastikan performa dan keandalan pompa dalam memindahkan air/pestisida sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Proses pengujian dimulai dengan menyiapkan pompa, sumber daya listrik atau tenaga penggerak (tergantung jenis pompa), wadah air (seperti tangki atau ember), serta saluran input dan output air berupa pipa atau selang.

4. Pengujian penyiraman air otomatis:

- Soil moisture sensor berhasil mendeteksi tingkat kelembaban tanah secara akurat. Ketika kadar kelembaban tanah turun di bawah ambang batas yang telah ditetapkan ($< 40\%$), sistem secara otomatis mengaktifkan pompa air dan menyirami tanaman cabai.
- Pada pengujian dengan kondisi tanah yang kering, waktu aktivasi pompa air rata-rata memakan waktu sekitar 120 detik hingga mencapai tingkat kelembaban optimal (41% - 70%).
- Sistem mampu menjaga kelembaban tanah di sekitar tanaman cabai pada kisaran yang optimal untuk pertumbuhan, dengan siklus penyiraman yang konsisten.

5. Pengujian penyemprotan pestisida otomatis:

- Penyemprotan pestisida diatur berdasarkan interval waktu yang telah diprogram. Ketika sistem mendeteksi jadwal yang telah ditentukan, pompa pestisida diaktifkan dan pestisida disemprotkan secara merata ke seluruh area tanaman cabai.
- Dalam pengujian selama dua minggu, penyemprotan pestisida dilakukan sesuai jadwal tanpa adanya keterlambatan, dengan durasi penyemprotan yang stabil dan efisien.
- Sistem juga memberikan opsi penyemprotan manual jika diperlukan, yang dapat diaktifkan melalui tombol tambahan pada perangkat.

4.1.1 Pengujian Sensor *Soil moisture*

Pengujian sensor bertujuan untuk mengetahui tingkat keakuratan dari sensor soil moisture DFRobot Pro ini dilakukan dengan menggunakan nilai yang ada pada data sheet sensor ini yang ada di web DFRobot. Pengujian dilakukan pada 3 buah media tanam tanah yang berbeda.

Langkah awal pengujian ini adalah untuk mengetahui nilai ADC terhadap masing masing perbandingan berat tanah dengan berat air yang akan dimasukkan ke dalam tanah media uji, pengujian dilakukan dengan 5 variasi uji yaitu dengan air sebanyak 20 ml, 40ml, 60ml, 80ml dan 100ml pada tanah kering dengan berat 200g, setelahnya dilakuakn pengukuran nilai ADC dengan menggunakan program sebagai berikut :

```
void loop () {
  soilMoistureValue = analogRead(sensorMoisture);
  Serial.print("Soil moisture Value: ");
  Serial.print(soilMoistureValue);
```

Dari pengujian yang dilakukan didapatkan data seperti pada tabel 4.1 yang mana dibagi atas 3 kategori tanah yaitu kering, lembab dan basah dengan interval persentase yang sudah ditampilkan pada data tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Nilai ADC Sensor

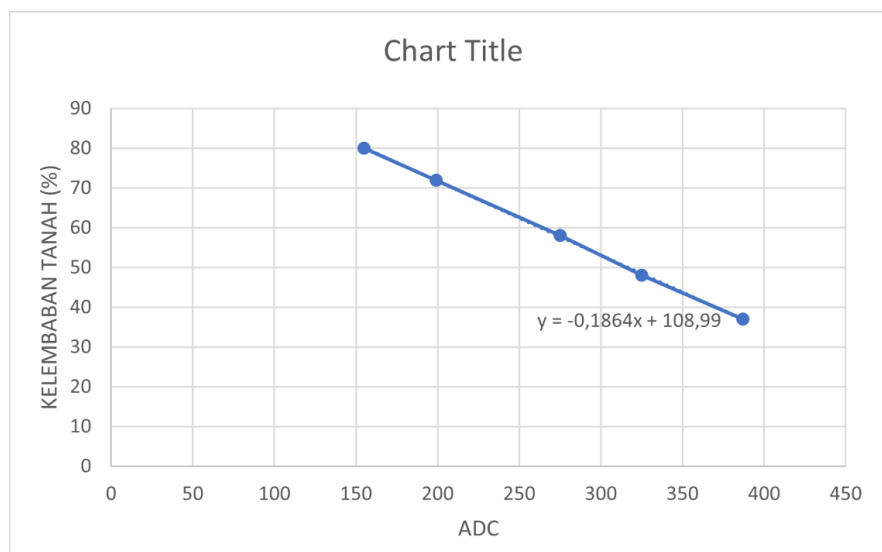
Massa air (g)	Massa tanah (g)	Kelembapan Tanah (%)	Nilai ADC
20	200	37%	387
40	200	48%	325
60	200	58%	275
80	200	72%	199
100	200	80%	155

Hasil pengujian dari Tabel 4.1 diatas dapat dilihat berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan yang dilakukan, diketahui bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara massa air yang ditambahkan ke dalam tanah dengan nilai

ADC yang dibaca oleh sensor kelembaban tanah. Semakin banyak massa air yang ditambahkan, nilai ADC yang dihasilkan oleh sensor semakin menurun. Hal ini sejalan dengan prinsip kerja sensor resistif, di mana semakin basah tanah, resistansinya menurun sehingga nilai ADC yang terbaca menjadi lebih kecil.

Konversi nilai ADC menjadi kelembaban tanah (%) menggunakan rumus eksponensial menghasilkan nilai kelembaban yang meningkat secara bertahap dan konsisten sesuai dengan kenaikan massa air. Nilai kelembaban dari perhitungan ini menunjukkan kecenderungan yang realistis dan mendekati nilai kelembaban tanah berdasarkan pengukuran manual, meskipun nilai manual terkesan lebih diskret atau bertingkat. Perbedaan kecil yang muncul antara nilai manual dan hasil perhitungan dapat disebabkan oleh keterbatasan alat ukur, variasi distribusi air dalam tanah, atau ketidaktepatan pencampuran air dengan tanah selama proses uji coba.

Secara keseluruhan, rumus eksponensial yang digunakan mampu merepresentasikan hubungan antara kadar air dan pembacaan sensor dengan baik. Nilai kelembaban hasil rumus dapat digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan otomatis dalam sistem monitoring, seperti pengontrol pompa air atau pompa pestisida berbasis kelembaban tanah. Dengan kata lain, metode ini cukup akurat dan efektif untuk digunakan dalam aplikasi pertanian berbasis mikrokontroler.



Gambar 4.1 Grafik Hasil Pembacaan Nilai ADC Terhadap Kondisi Tanah

Pada Tabel 4.1 menunjukkan hubungan antara jumlah air yang ditambahkan ke tanah, kelembapan tanah yang diukur dalam persen, dan nilai yang terbaca oleh sensor kelembapan tanah melalui ADC (*Analog to Digital Converter*). Dalam setiap pengukuran, massa tanah dijaga tetap sebanyak 200 gram, sementara volume air yang ditambahkan bervariasi mulai dari 20 ml hingga 100 ml. Dengan bertambahnya jumlah air yang diberikan ke tanah, kelembapan tanah pun meningkat secara bertahap, dari 37% hingga mencapai 80%.

Peningkatan kelembapan ini memberikan dampak langsung terhadap nilai yang dibaca oleh sensor. Nilai ADC yang tercatat menunjukkan penurunan seiring dengan naiknya kadar air dalam tanah. Sebagai contoh, ketika hanya 20 ml air ditambahkan, nilai ADC masih tinggi yaitu 387. Namun setelah penambahan air mencapai 100 ml, nilai ADC turun drastis menjadi 155. Hal ini dikarenakan karakteristik sensor kelembapan tanah tipe resistif, di mana semakin basah tanah, konduktivitasnya meningkat dan menyebabkan nilai tegangan output sensor yang masuk ke ADC menjadi lebih rendah.

Pada Grafik 4.1 menggambarkan hubungan antara nilai pembacaan ADC dari sensor kelembapan tanah pada sumbu X dan kelembapan tanah dalam persen pada sumbu Y. Dari grafik tersebut terlihat bahwa terdapat hubungan linier negatif antara kedua variabel tersebut, yang berarti semakin tinggi nilai ADC, maka semakin rendah tingkat kelembapan tanah yang terukur. Dalam konteks ini, X adalah nilai ADC, dan Y adalah kelembapan tanah dalam persen. Koefisien negatif menunjukkan bahwa saat nilai ADC meningkat, nilai kelembapan tanah menurun. Ini sesuai dengan prinsip kerja sensor resistif, di mana konduktivitas meningkat saat tanah lebih basah, menyebabkan tegangan output (dan karena itu nilai ADC) menurun.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Nilai ADC Sensor ke 2

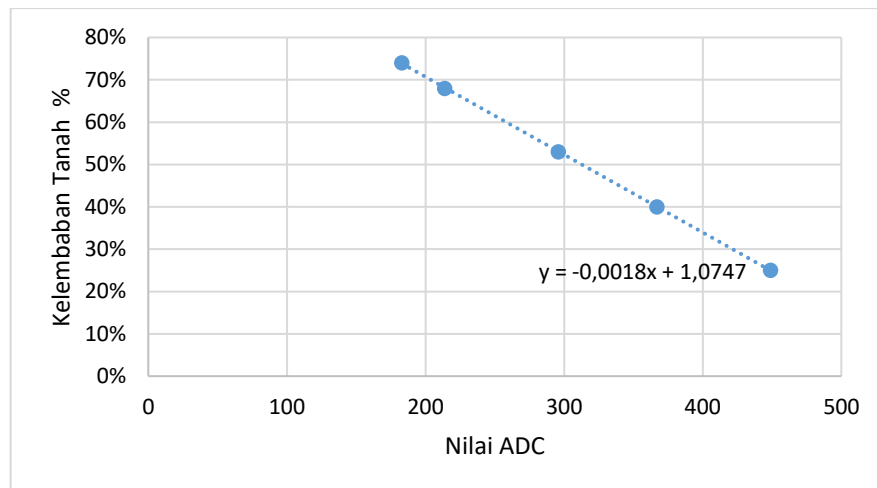
Massa air (g)	Massa tanah (g)	Kelembapan Tanah (%)	Nilai ADC
20	700	25	449
40	700	40	367
60	700	53	296
80	700	68	214
100	700	74	183

Tabel yang ditampilkan merupakan hasil pengujian untuk mengetahui hubungan antara jumlah air yang ditambahkan ke dalam tanah, kelembapan tanah yang dihasilkan, dan nilai ADC (*Analog to Digital Converter*) yang dibaca oleh sensor kelembapan tanah. Dalam pengujian ini, massa tanah dijaga tetap sebesar 700 gram untuk setiap percobaan, sementara massa air yang ditambahkan bervariasi, mulai dari 20 gram hingga 100 gram dengan kenaikan 20 gram di setiap tahapnya. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memahami bagaimana perubahan jumlah air memengaruhi kelembapan tanah dan bagaimana sensor merespon perubahan tersebut melalui nilai ADC yang dihasilkan.

Kelembapan tanah yang tercantum dalam tabel dinyatakan dalam persen (%) dan menunjukkan seberapa banyak kandungan air dalam tanah berdasarkan perbandingan antara massa air dan massa tanah. Ketika ditambahkan 20 gram air ke dalam 700 gram tanah, diperoleh kelembapan tanah sebesar 25%. Ketika jumlah air ditingkatkan menjadi 40 gram, kelembapan tanah meningkat menjadi 40%, dan seterusnya hingga pada penambahan 100 gram air menghasilkan kelembapan 74%. Ini menunjukkan adanya hubungan linier atau mendekati linier antara banyaknya air yang ditambahkan dan kelembapan tanah yang dihasilkan.

Kolom terakhir, yaitu nilai ADC, menunjukkan data digital yang dibaca dari sensor kelembapan. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip konduktivitas atau resistansi tanah terhadap air. Ketika tanah dalam kondisi kering (sedikit air), nilai ADC yang dibaca tinggi, misalnya sebesar 449 pada kelembapan 25%. Sebaliknya, ketika tanah menjadi semakin basah, nilai ADC menurun, contohnya pada kelembapan 74% nilai ADC hanya sebesar 183. Artinya, nilai ADC berbanding

terbalik dengan kelembapan tanah semakin basah tanahnya, semakin rendah nilai ADC yang dibaca sensor.



Gambar 4. 2 Grafik Hasil Pembacaan Nilai ADC Terhadap Kondisi Tanah ke 2

Pada grafik di atas menunjukkan hubungan antara nilai ADC (sumbu horizontal/X) dengan persentase kelembapan tanah (sumbu vertikal/Y), yang diberi judul “Ekuivalen”. Grafik ini menampilkan lima titik data yang berasal dari tabel sebelumnya dan menunjukkan bagaimana nilai kelembapan tanah berubah terhadap nilai ADC yang dibaca oleh sensor kelembapan. Secara visual, grafik membentuk garis regresi linier menurun (*negative slope*), yang menunjukkan bahwa terdapat hubungan berbanding terbalik antara nilai ADC dan kelembapan tanah. Artinya, semakin tinggi nilai ADC yang dibaca sensor, semakin rendah kelembapan tanah. Hal ini konsisten dengan prinsip kerja sensor kelembapan tanah resistif: tanah yang kering memiliki resistansi tinggi, menyebabkan nilai ADC tinggi, sementara tanah yang basah memiliki resistansi rendah, menghasilkan nilai ADC yang lebih rendah.

Garis putus-putus biru pada grafik adalah garis tren (trendline) hasil regresi linier, yang dilengkapi dengan persamaan matematis regresi:

$$y = -0,0018x + 1,0747 \dots\dots\dots(2.3)$$

Persamaan ini menjelaskan hubungan antara nilai ADC (x) dengan kelembapan tanah dalam bentuk pecahan desimal (y). Jika hasil y ingin ditampilkan dalam persen (%), maka perlu dikalikan dengan 100, sehingga bentuk persamaan menjadi:

$$\text{Kelembapan Tanah (\%)} = -0,18 \text{ Nilai ADC} + 107,47$$

Ini berarti setiap kenaikan nilai ADC sebesar 1 akan menyebabkan penurunan kelembapan tanah sebesar 0,18%. Misalnya, jika sensor membaca nilai ADC sebesar 300, maka kelembapan tanah diperkirakan:

$$\text{Kelembapan (\%)} = -0,18 \times 300 + 107,47 = 53,47\%$$

Tabel 4. 3 Hasil perbandingan % standar dan % alat

No	% STANDAR	% ALAT	Error (%)
1	37	25	32,43
2	48	40	16,67
3	58	53	8,62
4	72	68	5,56
5	80	74	7,5
Rata-rata			14,16

$$\left(\frac{\text{nilai hasil} - \text{nilai referensi}}{\text{nilai referensi}} \right) \times 100\% \dots \dots (2.3)$$

Pada tabel 4.3 menunjukkan hasil perbandingan antara nilai % standar dan % alat, serta nilai Error (%) yang dihitung berdasarkan selisih relatif keduanya. Perhitungan ini bertujuan untuk mengukur tingkat ketidaksesuaian atau deviasi antara nilai pengamatan (% Ekuivalen) terhadap nilai acuan (% LCD). Hasil penghitungan menunjukkan bahwa nilai error bervariasi, mulai dari 5,56% hingga 32,43%, dengan rata-rata error sebesar 14,16%. Nilai error tertinggi terjadi pada sampel ke-1, yang menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara nilai % LCD dan % Ekuivalen. Sementara itu, nilai error terendah terdapat pada sampel ke-4, yang menandakan kesesuaian yang lebih baik antara kedua parameter tersebut.

Tabel 4.4 Kategori Kondisi Tanah Dengan Interval Persentase

No	Keadaan Tanah	Persentase
1	Kering	0% - 40%
2	Lembab	41% - 70%
3	Basah	71% - 100%

Hasil persentase sensor yang didapatkan pada tabel 4.2 dari pengujian sensor soil moisture terdapat 3 keadaan tanah kering, lembab, basah dengan interval 0 – 100%. Pertama keadaan tanah kering memiliki persentase 0% – 40%. Kedua

keadaan tanah lembab memiliki persentase 40% – 70%. Ketiga keadaan tanah basah memiliki persentase 70% – 100%. Ketiga tanah ini memiliki tipe yang sama.

Sensor ini juga menunjukkan keandalan yang tinggi selama periode pengujian berkelanjutan, dengan kinerja yang konsisten tanpa adanya penurunan akurasi. Pengujian ini mengkonfirmasi bahwa sensor soil moisture DFRobot sangat cocok untuk digunakan dalam sistem irigasi otomatis, membantu menjaga keseimbangan kelembaban tanah dan memastikan kebutuhan air tanaman terpenuhi dengan efisien.

4.1.2 Pengujian Pompa Air dan Pompa Pestisida

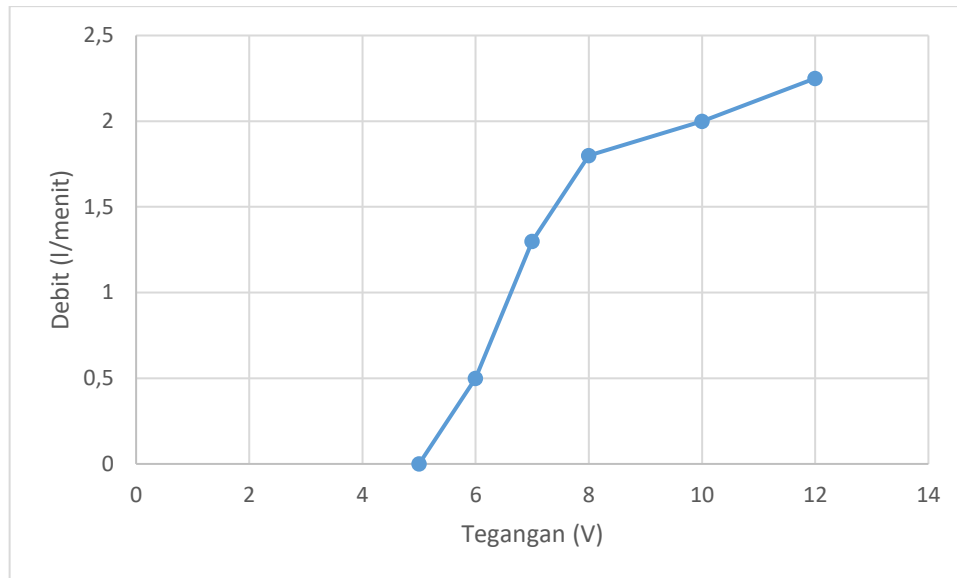
Pengujian ini bertujuan untuk memastikan pompa memenuhi spesifikasi teknis, mampu bekerja dalam kondisi operasional tertentu, dan memiliki daya tahan terhadap penggunaan jangka panjang. Pengujian meliputi debit air yang mampu di pindahkan oleh pompa berdasarkan variasi-variasi tegangan yang diujikan.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Pompa

No	Tegangan (V)	Debit (l/menit)	Keterangan
1	12	2,25	Air dapat keluar dengan baik dari nozzle
2	10	2	Air dapat keluar dengan baik dari nozzle
3	8	1,8	Air dapat keluar dengan baik dari nozzle
4	7	1,3	Air dapat keluar dengan baik dari nozzle
5	6	0,5	Air dapat keluar dengan baik dari nozzle
6	5	0	Pompa tidak dapat menyedot air

Berdasarkan data dari tabel pengujian pompa air, dapat dilakukan analisis hubungan antara tegangan (V) dan debit air (liter/menit). Tegangan berfungsi sebagai input daya utama untuk mengoperasikan pompa, dan hasil menunjukkan bahwa debit air yang dihasilkan pompa secara langsung bergantung pada tegangan yang diberikan. Pada tegangan maksimum 12V, debit air mencapai 2,25 liter/menit, yang menunjukkan kinerja optimal pompa, di mana air dapat keluar dengan lancar dari nozzle. Seiring dengan penurunan tegangan, debit air menurun secara bertahap:

pada tegangan 10V debit menurun menjadi 2 liter/menit, kemudian pada 8V menjadi 1,8 liter/menit, 7V menjadi 1,3 liter/menit, dan 6V menjadi 0,5 liter/menit. Data pada Tabel 4.3 disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengujian Pompa

Dari hasil pengujian pada Tabel 4.3 dan Grafik 4.3 ketika tegangan turun hingga 5V, pompa tidak lagi dapat menyedot air, menandakan bahwa 5V berada di bawah ambang batas operasional minimum pompa. Analisis ini menunjukkan bahwa tegangan minimum agar pompa tetap berfungsi dengan baik adalah sekitar 6V, dengan debit air yang semakin kecil mendekati batas tersebut. Selain itu, pompa bekerja paling efisien dan optimal pada tegangan 12V, di mana debit air tertinggi tercapai. Data ini memberikan gambaran penting bahwa penurunan tegangan dapat mengurangi performa pompa secara signifikan, dan tegangan terlalu rendah akan menyebabkan pompa kehilangan fungsinya.

4.1.3 Pengujian Relay

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah relay berkerja sesuai fungsinya yaitu untuk mengaktifkan dan menonaktifkan pompa. Pengujian relay dilakukan untuk memastikan fungsi dan keandalan komponen dalam mengendalikan sirkuit listrik. Pengujian dimulai dengan mengidentifikasi terminal relay, yaitu terminal koil (kumparan) dan terminal kontak (NO, NC, dan COM).

Pengujian dilakukan dengan menggunakan multimeter, dilakukan pengukuran untuk memeriksa apakah terminal Normally Open (NO) terhubung dengan terminal Common (COM) saat relay aktif, serta memastikan terminal Normally Closed (NC) terputus.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Relay

No	Triger	Kondisi Awal	Kondisi Akhir
1	HIGH	NO	Close
2	LOW	NO	Open
3	HIGH	NC	Open
4	LOW	NC	Close

Dari hasil pengujian pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa relay berfungsi dengan baik sesuai dengan spesifikasi dasar. Ketika sinyal trigger HIGH diberikan, relay aktif dan mengubah kondisi kontakannya (NO menjadi close dan NC menjadi open). Sebaliknya, ketika sinyal trigger LOW diberikan, relay tidak aktif dan kembali ke kondisi normal (NO tetap open dan NC tetap close). Hal ini mengindikasikan bahwa mekanisme switching relay berjalan dengan stabil dan sesuai dengan prinsip kerja relay elektromekanis.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Relay Kontrol Pompa

No	Triger	Kondisi Awal	Pompa
1	HIGH	NO	ON
2	LOW	NO	OFF
3	HIGH	NC	OFF
4	LOW	NC	ON

Tabel 4.5 merupakan hasil pengujian relay untuk kontrol pompa, dari hasil pengujian yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa relay ini dapat diandalkan untuk digunakan dalam sistem kontrol yang membutuhkan switching listrik berdasarkan sinyal trigger dalam hal pengujian ini adalah pompa.

4.1.4 Pengujian Relay pada Pompa Air dan Pompa Pestisida

Pengujian relay bertujuan untuk mengetahui apakah relay bekerja sesuai dengan perintah yang diberikan melalui program. Pada alat ini Relay Pompa air akan aktif apabila kelembaban dibawah 35% dan pestisida akan aktif apabila sudah pada jadwal penyiraman pestisida yaitu sekali seminggu, hasil pengujian relay dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Kontrol Pompa Air Dengan Relay

No	Pengujian	Relay	Keterangan
1	Kelembaban < 60%	Tidak aktif	Pompa air OFF
2	Kelembaban < 50%	Tidak aktif	Pompa air OFF
3	Kelembaban < 40%	Tidak aktif	Pompa air OFF
4	Kelembaban = 35%	Tidak aktif	Pompa air OFF
5	Kelembaban < 35%	Aktif	Pompa air ON
6	Kelembaban < 30%	Aktif	Pompa air ON

Dari hasil pengujian pada Tabel 4.6 dapat dikatakan bahwa relay dapat bekerja sesuai dengan kebutuhan pada sistem, yaitu apabila kelembaban dibawah 35% maka relay akan mengaktifkan pompa hingga kelembaban > 55%.

Selanjutnya pengujian yang dilakukan adalah pengujian kontrol on/off pompa pestisida menggunakan relay, pengujian dilakukan dengan membuat setup pompa pestisida harus hidup pada setiap jam 14.00 dan jam 18.00 setiap hari yang mana hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Kontrol Pompa Pestisida Menggunakan Relay

No	Jam	Relay	Keterangan
1	12.00	Tidak aktif	Pompa pestisida OFF
2	13.00	Tidak aktif	Pompa pestisida OFF
3	14.00	Tidak aktif	Pompa pestisida OFF
4	15.00	Aktif	Pompa pestisida ON
5	16.00	Tidak aktif	Pompa pestisida OFF
6	17.00	Tidak aktif	Pompa pestisida OFF

7	18.00	Aktif	Pompa pestisida ON
---	-------	-------	--------------------

Dari hasil pengujian yang dilakukan pada Tabel 4.7 relay dapat bekerja sesuai dengan perintah yang diberikan pada Arduino sesuai dengan input yang diberikan yaitu waktu untuk mengaktifkan relay dan pompa pestisida pada jam tertentu.

4.1.5 Pengujian Relay Pompa Air dan Pompa Pestisida Secara Bersamaan

Pengujian relay bertujuan untuk mengetahui apakah relay bekerja sesuai dengan perintah yang diberikan melalui program. Pada alat ini Relay pompa air akan aktif apabila nilai kelembaban tanah berada pada persentase dibawah 30% dan Relay Pestisida akan aktif apabila sudah pada jadwal penyiraman pestisida yaitu sekali seminggu, hasil pengujian relay dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 dari hasil pengujian tersebut maka selanjutnya dilakukan pengujian relay pompa air dan pompa pestisida secara bersamaan dengan hasil pengujian pada Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Pompa Air dan Pompa Pestisida Secara Bersamaan

No	Pengujian	Relay Pompa Air	Relay Pompa Pestisida
1	Kelembaban tanah < 35%, diluar jadwal penyiraman pestisida.	ON	OFF
2	Kelembaban tanah < 35%, pada jadwal penyiraman pestisida.	ON	ON setelah 10 menit
3	Kelembaban tanah < 71%, diluar jadwal penyiraman pestisida.	OFF	OFF
4	Kelembaban tanah < 71%, pada jadwal penyiraman pestisida.	OFF	ON

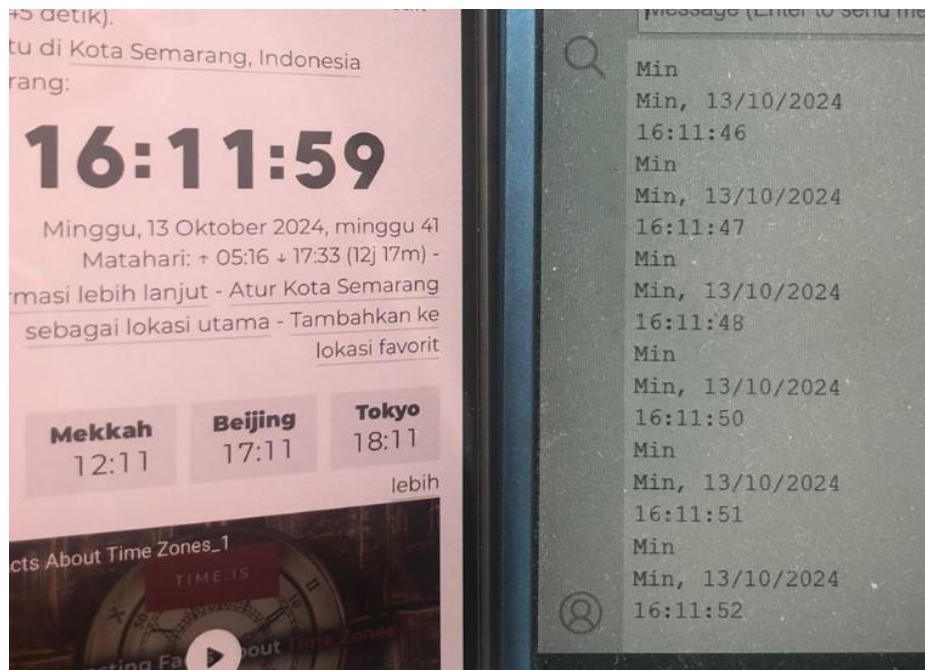
5	Kelembaban tanah > 71%, diluar jadwal penyiraman pestisida.	OFF	OFF
6	Kelembaban tanah > 71%, pada jadwal penyiraman pestisida.	OFF	ON

Dari hasil pengujian yang didapat pada Tabel 4.8 diketahui bahwa pada saat jadwal penyiraman pestisida pompa air akan menyala apabila kelembaban dibawah 35% dan sistem akan menunda penyiraman pestisida selama 10 menit, hal ini dikarenakan untuk efektivitas pestisida agar tidak hilang dikarenakan terkena air, sehingga tidak mengurangi daya guna pestisida itu sendiri dalam pengendalian hama, selain itu menghindari penyemprotan air dan pestisida secara bersamaan untuk menghindari kontaminasi air tanah oleh pestisida yang jatuh ke tanah.

Relay pompa air dan pompa pestisida tidak akan ON bersamaan apabila pada waktu yang bersamaan keadaan kelembaban tanah berada pada kategori kering dan dalam jadwal penyiraman pestisida. Relay pompa air akan tetap mati dan akan hidup sesuai yang dijadwalkan hanya pada hari yang bersamaan dengan jadwal penyiraman pestisida.

4.1.6 Pengujian Real Time Clock

Pengujian modul RTC ini bertujuan untuk memverifikasi ketepatan waktu yang ditampilkan oleh modul RTC sesuai dengan pengaturan awal. Ini mencakup uji sinkronisasi waktu dan tanggal secara akurat dengan jam nyata. Pengujian ini juga bertujuan untuk memverifikasi bahwa modul RTC dapat berkomunikasi dengan mikrokontroler atau sistem kontrol lainnya melalui protokol komunikasi yang digunakan yaitu I2C.



Gambar 4.4 Pengujian Modul RTC

Dari hasil pengujian yang dilakukan, modul RTC memiliki kesalahan waktu (error) sekitar 7 detik dan berdasarkan spesifikasi alat, modul ini memiliki rata rata kesalahan waktu ± 2 ppm (parts per million) atau sekitar ± 1 menit per tahun. Pengujian juga dilakukan dengan penyesuaian penggunaan komponen pada sistem, yaitu dengan menampilkan “waktunya penyiraman pestisida” pada layar LCD I2C sehingga user bisa mengetahui jika waktunya untuk pompa pestisida aktif, pada pengujian waktu yang diatur untuk penyalan pompa pestisida adalah pada jam 14.00 dan jam 16.00 pada hari Minggu. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Modul RTC

No	Jam Aktual	Jam RTC	Keterangan LCD
1	12.00	12.00	Tidak ada notifikasi
2	13.00	13.00	Tidak ada notifikasi
3	14.00	14.00	Waktunya penyiraman pestisida
4	15.00	15.00	Tidak ada notifikasi
5	16.00	16.00	Waktunya penyiraman pestisida
6	17.00	17.00	Tidak ada notifikasi

Dari hasil pengujian pada Tabel 4.9 modul RTC bekerja sesuai dengan kondisi pengujian pada gambar 4.4 dimana modul RTC merupakan input sistem alat ini, yaitu ketika jam dan tanggal yang telah ditentukan akan mengaktifkan pompa pestisida.

4.1.7 Pengujian Volume dan Durasi Penyiraman

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan volume air yang digunakan dalam setiap siklus penyiraman dan durasi penyiraman sesuai dengan kebutuhan tanaman yaitu hingga kelembaban 55%. Pengujian dilakukan dengan mengukur berapa banyak air yang dikeluarkan selama satu siklus dan berapa lama pompa air harus aktif untuk menjaga kelembaban optimal (40%-60%). Pengujian ini memastikan bahwa penyiraman tidak berlebihan (overwatering) dan tanah tetap berada dalam kondisi ideal bagi pertumbuhan tanaman cabai, tanpa adanya penggenangan.

Tabel 4.12 Hasil Pengujian Volume dan Durasi Penyiraman

No	Kelembaban Sebelum Penyiraman (%)	Set Poin (%)	Kelembaban 10 menit Setelah Awal Penyiraman (%)	Durasi Penyiraman (s)	Volume Air (Liter)
1	17	55	59	41	1,5
2	21	55	61	39	1,4
3	24	55	57	35	1,28
4	28	55	58	31	1,13
5	33	55	60	29	1
6	35	55	60	23	0,8

Dari hasil pengujian pada Tabel 4.10 dimana hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem penyiraman berfungsi secara efisien. Pada kondisi tanah yang sangat kering, penyiraman berlangsung lebih lama dengan volume air yang lebih besar,

sementara pada tanah yang sudah lembab, penyiraman berlangsung lebih singkat dan hanya menggunakan sedikit air. Hal ini menunjukkan bahwa sistem dapat menyesuaikan secara otomatis sesuai dengan kondisi tanah, sehingga mencegah kelebihan air (overwatering) dan menjaga kelembaban tanah tetap stabil untuk mendukung pertumbuhan tanaman cabai.

4.1.8 Pengujian Penyiraman Air Berbasis Tingkat Kelembaban Tanah

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem penyiraman otomatis yang dikendalikan oleh sensor kelembaban tanah. Sensor kelembaban tanah digunakan untuk mendeteksi kadar air dalam tanah dan mengaktifkan sistem penyiraman secara otomatis ketika kelembaban turun di bawah ambang batas yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan dengan berbagai kondisi tanah, mulai dari kering hingga lembab, untuk melihat bagaimana sistem merespons perubahan kelembaban tanah.

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Pompa Air Berdasarkan Kelembaban

No	Kelembaban (%)	Pompa air	Keterangan
1	41	OFF	Tingkat kelembaban masih berada pada kelembaban optimal untuk tanah
2	39	OFF	Tingkat kelembaban masih berada dalam range toleransi kelembaban optimal
3	35	OFF	Tingkat kelembaban masih berada dalam range toleransi kelembaban optimal
4	31	ON	Tingkat kelembaban dibawah batas toleransi kelembaban optimal, pompa air ON hingga kelembaban 55%
5	29	ON	Tingkat kelembaban dibawah batas toleransi kelembaban optimal, pompa air ON hingga kelembaban 55%

Pada pengujian ini, kelembaban tanah diukur sebelum dan sesudah penyiraman untuk memastikan efektivitas penyiraman. Saat kelembaban tanah berada di bawah 35%, sensor akan memicu penyiraman, dan pompa air diaktifkan untuk menyirami tanaman hingga kelembaban mencapai tingkat yang optimal (40%-60%). Durasi penyiraman dan volume air yang digunakan juga diukur untuk mengevaluasi efisiensi sistem dalam menjaga kelembaban tanah yang ideal.

4.1.9 Pengujian Penyiraman Pestisida Berbasis Jadwal

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa pestisida dapat disemprotkan pada waktu yang tepat sesuai dengan kebutuhan tanaman. Pengujian bertujuan untuk menilai apakah sistem penyiraman pestisida beroperasi dengan konsisten sesuai jadwal yang telah ditetapkan tanpa kesalahan atau keterlambatan. Ini termasuk memeriksa ketepatan waktu dan volume cairan pestisida yang disemprotkan. Pengujian ini juga penting untuk memastikan bahwa penyiraman pestisida dilakukan dengan aman, tidak berisiko terhadap operator atau lingkungan sekitar, dan mencegah kemungkinan terjadinya over-spraying atau penumpukan pestisida yang berlebihan.

Tabel 4.14 Hasil Pengujian Penyiraman Pestisida Berbasis Jadwal

No	Tanggal	Durasi ON (s)	Keterangan
1	Senin, pukul 14.00	0	Pompa pestisida tidak akan aktif apabila diluar hari dan jam yang telah ditentukan
2	Selasa, pukul 10.00	60	Pompa pestisida aktif sesuai dengan jadwal hari dan jam yang telah disetting pada program arduino
3	Selasa, pukul 14.00	0	Pompa pestisida tidak akan aktif apabila jadwal jam yang telah ditentukan
4	Rabu, pukul 14.00	0	Pompa pestisida tidak akan aktif apabila diluar hari dan jam yang telah ditentukan
5	Kamis, pukul 14.00	0	Pompa pestisida tidak akan aktif apabila diluar hari dan jam yang telah ditentukan
6	Jumat, pukul	0	Pompa pestisida tidak akan aktif apabila diluar hari

	14.00		dan jam yang telah ditentukan
7	Sabtu, pukul 14.00	0	Pompa pestisida tidak akan aktif apabila diluar hari dan jam yang telah ditentukan

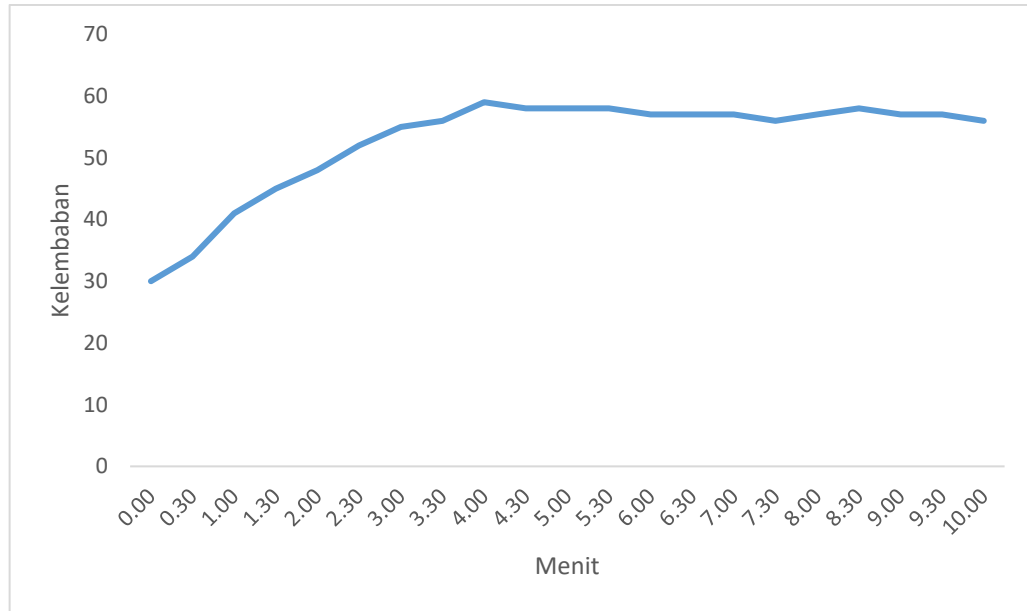
Berdasarkan hasil pengujian, sistem kontrol pompa pestisida menggunakan RTC (*Real-Time Clock*) dan relay telah berfungsi dengan baik sesuai jadwal yang ditentukan. Pompa hanya aktif pada waktu yang diatur, yaitu Selasa pukul 10.00, sementara di luar hari dan jam tersebut (misalnya pada Senin, Rabu, Kamis, Jumat, dan Sabtu pukul 14.00), pompa tetap tidak aktif. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu memproses perintah dengan akurat berdasarkan informasi waktu dari RTC. Relay juga berfungsi dengan baik dalam mengaktifkan pompa hanya ketika kondisi waktu terpenuhi. Sistem ini menunjukkan ketepatan pengaturan waktu dan keandalannya dalam membedakan antara waktu yang valid dan tidak valid. Untuk pengembangan lebih lanjut, sistem dapat ditingkatkan dengan menambahkan fitur notifikasi, pencatatan aktivitas, atau antarmuka untuk mengatur jadwal secara dinamis. Secara keseluruhan, sistem telah memenuhi tujuan otomatisasi kontrol pompa berbasis waktu.

4.1.10 Pengujian Kontrol Kelembaban Tanah

Pengujian kontrol kelembaban tanah merupakan pengujian sistem alat ini yang mana bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam menjaga kelembaban tanah pada rentang yang optimal secara otomatis. Sistem dirancang untuk mengaktifkan pompa air saat kelembaban tanah di bawah 35% dan menonaktifkannya ketika kelembaban tanah mencapai atau melebihi 55%.

Pengujian ini juga dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi tegangan input pada pompa, yaitu 7V, 9V, dan 12V, terhadap efisiensi kerja sistem, termasuk kecepatan respons pompa dalam meningkatkan kelembaban tanah. Variasi tegangan ini penting untuk menentukan tegangan optimal yang mampu memberikan kinerja terbaik dengan konsumsi daya yang efisien. Tujuan pengujian ini mengidentifikasi hubungan antara tegangan input dan performa sistem dalam menjaga kelembaban tanah secara otomatis dan efektif. Hasil pengujian ini akan

digunakan untuk mengoptimalkan sistem penyiraman tanaman cabe otomatis berbasis Arduino Uno.



Gambar 4.5 Grafik Hasil Pengujian Kontrol Kelembaban Dengan Vin Pompa 7V

Hasil pengujian pada grafik Gambar 4.5 dapat dilihat pada Tabel 4.13 beserta keterangan kondisi pompa dan nilai kelembaban tanah.

Tabel 4.15 Hasil pengujian Kontrol Kelembaban Tanah Dengan Vin Pompa 7V

Menit	Kelembaban (%)	Keterangan
0.00	30	Kondisi awal ketika alat pertama kali dihidupkan, kelembaban dibawah ambang batas 35%, pompa air aktif
1.00	41	Kelembaban berada pada kelembaban optimal Pompa air aktif tetap aktif hingga kelembaban sama atau lebih dari 55%
2.00	48	Kelembaban berada pada kelembaban optimal Pompa air aktif tetap aktif hingga kelembaban sama atau lebih dari 55%
3.00	55	Kelembaban berada pada kelembaban optimal, Pompa air off
4.00	59	Kelembaban berada pada kelembaban optimal, Pompa air off
5.00	58	Kelembaban berada pada kelembaban optimal, Pompa air off
6.00	57	Kelembaban berada pada kelembaban optimal, Pompa air off
7.00	57	Kelembaban berada pada kelembaban optimal, Pompa air off
8.00	57	Kelembaban berada pada kelembaban optimal, Pompa air off
9.00	56	Kelembaban berada pada kelembaban optimal, Pompa air off
10.00	56	Kelembaban berada pada kelembaban optimal, Pompa air off

Dari hasil pengujian pada Tabel 4.13 yaitu pengujian sistem pada tegangan 7V, kelembaban awal berada pada 30%. Sistem merespons dengan baik melalui pengaktifan pompa air, sehingga kelembaban meningkat secara konsisten hingga mencapai 48% dalam waktu 2 menit pertama, dengan laju kenaikan rata-rata sekitar 9% per menit. Pada menit ke-2:30, kelembaban mendekati target dengan mencapai 52%, dan pompa tetap aktif hingga menit ke-3:00 saat kelembaban mencapai 55%. Setelah itu, pompa mati secara otomatis, dan kelembaban stabil di kisaran 55% hingga 57% selama sisa waktu pengujian.

Respon sistem menunjukkan adanya waktu kenaikan (*rise time*) sekitar 2 menit untuk mencapai kelembaban ideal tanah. Stabilitas sistem terlihat baik setelah pompa mati. Secara keseluruhan, sistem bekerja efisien dan responsif pada tegangan 7V.

Selanjutnya dilakukan pengujian dengan variasi tegangan input pompa air pada tegangan 9V hasil pengujian dapat dilihat dalam bentuk grafik dan tabel pada Gambar 4.6 dan Tabel 4.14.

Tabel 4.16 Hasil Pengujian Kontrol Kelembaban Tanah Dengan Vin Pompa 9V

Menit	Kelembaban (%)	Keterangan
0.00	33	Kondisi awal ketika alat pertama kali dihidupkan, kelembaban dibawah ambang batas 35%, pompa air aktif
1.00	45	Kelembaban berada pada kelembaban optimal Pompa air aktif tetap aktif hingga kelembaban sama atau lebih dari 55%
2.00	58	Kelembaban berada pada kelembaban optimal, Pompa air off
3.00	62	Kelembaban berada pada kelembaban optimal, Pompa air off
4.00	66	Kelembaban berada pada kelembaban optimal,

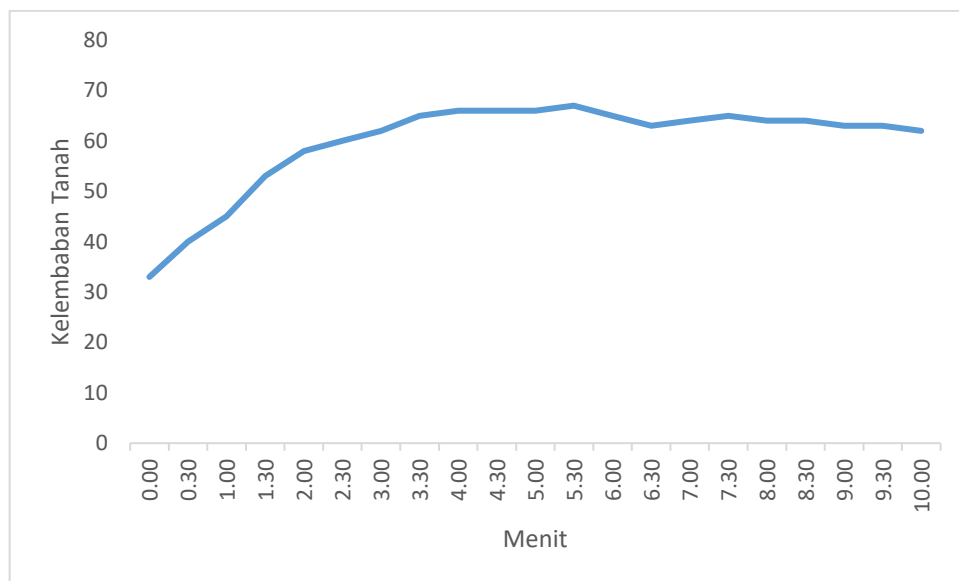
		Pompa air off
5.00	66	Kelembaban berada pada kelembaban optimal, Pompa air off
6.00	65	Kelembaban berada pada kelembaban optimal, Pompa air off
7.00	64	Kelembaban berada pada kelembaban optimal, Pompa air off
8.00	64	Kelembaban berada pada kelembaban optimal, Pompa air off
9.00	63	Kelembaban berada pada kelembaban optimal, Pompa air off
10.00	62	Kelembaban berada pada kelembaban optimal, Pompa air off

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.14, sistem menunjukkan respons yang efisien dalam meningkatkan kelembaban tanah. Pada menit awal (0:00), kelembaban berada di 33%, di bawah batas minimal 35%, sehingga pompa air aktif untuk meningkatkan kelembaban. Dalam waktu 2 menit, kelembaban meningkat hingga 58%, dengan rata-rata kenaikan sebesar 12,5% per menit, yang mencerminkan kinerja pompa yang cepat pada tegangan 9V. Pada menit 2:00, pompa mati secara otomatis setelah kelembaban melewati ambang batas atas 55%. Setelah pompa mati, kelembaban terus meningkat secara perlahan hingga mencapai 66% pada menit 4:00. Sistem kemudian stabil pada kelembaban 65–66% hingga menit 6:00, sebelum terjadi sedikit penurunan kelembaban secara bertahap hingga mencapai 62% pada menit 10:00, namun tetap berada dalam rentang kelembaban ideal (40–70%).

Dibandingkan dengan pengujian sebelumnya pada tegangan 7V, terlihat bahwa sistem pada tegangan 9V memiliki respons awal yang lebih cepat, dengan rata-rata kenaikan kelembaban lebih tinggi (12,5% per menit dibandingkan 6,5% per menit pada tegangan 7V). Selain itu, kelembaban tanah mencapai puncak yang

sama pada 66%, tetapi pada tegangan 9V, terjadi penurunan kelembaban yang lebih signifikan setelah mencapai puncaknya, meskipun tetap dalam rentang ideal.

Secara keseluruhan, sistem dengan tegangan input 9V bekerja lebih efektif untuk meningkatkan kelembaban secara cepat pada kondisi awal yang kering, Pemilihan tegangan input dapat disesuaikan berdasarkan kebutuhan aplikasi, di mana tegangan 9V lebih cocok untuk respons awal yang cepat.



Gambar 4.6 Grafik Hasil Pengujian Kelembaban Tanah Dengan Vin Pompa 9V

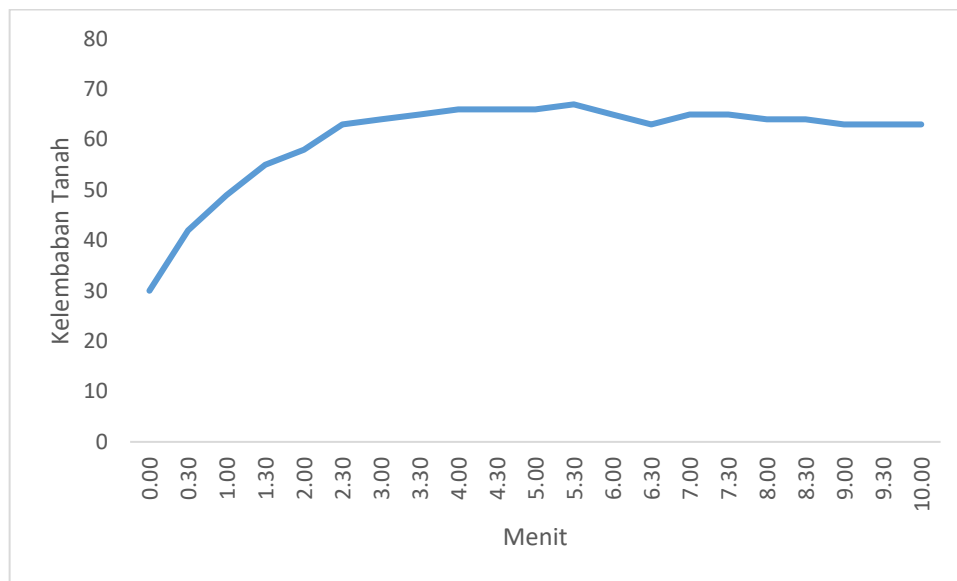
Hasil grafik pada Gambar 4.6 merupakan Gambaran dari nilai kondisi kelembaban dengan pengujian selama 10 menit, data dari grafik pada gambar tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik pada Tabel 4.14.

Setelahnya dilakukan pengujian dengan variasi tegangan input pompa air pada tegangan 12V hasil pengujian dapat dilihat dalam bentuk grafik dan tabel pada Gambar 4.7 dan Tabel 4.15.

Tabel 4.17 Hasil Pengujian Kontrol Kelembaban Tanah Dengan Vin Pompa 12V

Menit	Kelembaban (%)	Keterangan
0.00	30	Kondisi awal ketika alat pertama kali dihidupkan, kelembaban dibawah ambang batas 35%, pompa air aktif
1.00	49	kelembaban berada pada kelembaban optimal

		Pompa air aktif tetap aktif hingga kelembaban sama atau lebih dari 55%
2.00	58	Kelembaban berada pada kelembaban optimal, Pompa air off
3.00	64	Kelembaban berada pada kelembaban optimal, Pompa air off
4.00	66	Kelembaban berada pada kelembaban optimal, Pompa air off
5.00	66	Kelembaban berada pada kelembaban optimal, Pompa air off
6.00	65	Kelembaban berada pada kelembaban optimal, Pompa air off
7.00	65	Kelembaban berada pada kelembaban optimal, Pompa air off
8.00	64	Kelembaban berada pada kelembaban optimal, Pompa air off
9.00	63	Kelembaban berada pada kelembaban optimal, Pompa air off
10.00	63	Kelembaban berada pada kelembaban optimal, Pompa air off



Gambar 4.7 Grafik Hasil Pengujian Kelembaban Tanah Dengan Vin Pompa 12V

Berdasarkan hasil pengujian pada tegangan input 12V, sistem menunjukkan respons yang sangat cepat dalam meningkatkan kelembaban tanah. Pada menit awal (0:00), kelembaban berada di 30%, di bawah ambang batas minimal 35%, sehingga pompa aktif untuk meningkatkan kelembaban. Dalam waktu 1 menit, kelembaban meningkat drastis hingga 49%, dengan rata-rata kenaikan sebesar 19% per menit, menunjukkan efisiensi tinggi dari pompa. Pada menit 1:30, kelembaban mencapai 55%, yang merupakan batas atas kelembaban optimal, sehingga pompa otomatis mati.

Setelah pompa mati, kelembaban terus meningkat perlahan hingga mencapai puncaknya di 67% pada menit 5:30, sebelum mengalami penurunan bertahap dan stabil di sekitar 63–65% pada akhir pengujian di menit 10:00. Dibandingkan dengan pengujian sebelumnya pada tegangan 7V dan 9V, sistem dengan tegangan 12V menunjukkan respons awal tercepat, hanya membutuhkan waktu 1,5 menit untuk mencapai kelembaban optimal dibandingkan dengan 2 menit pada tegangan 7V dan 9V. Stabilitas kelembaban pada tegangan 12V berada di kisaran 63–65%, sedikit lebih rendah dibandingkan dengan 66–67% pada tegangan 7V, yang menunjukkan stabilitas terbaik di antara ketiganya. Tegangan 9V menunjukkan performa sedang dengan kelembaban stabil di kisaran 62–66%, namun dengan fluktuasi kecil di akhir pengujian.

Pengujian pada tegangan 12V menunjukkan respons tercepat dalam meningkatkan kelembaban tanah, membuatnya cocok untuk aplikasi yang membutuhkan reaksi cepat pada kondisi awal yang kering.