

## Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Untuk Pertanian Tanaman Tomat Menggunakan Metode *Pulse Width Modulation* (PWM)

<sup>[1]</sup>Muhammad Azmi Aulia Amin, <sup>[2]</sup>Tedy Rismawan, <sup>[3]</sup>Irma Nirmala  
<sup>[1][2][3]</sup>Jurusan Rekayasa Sistem Komputer, Fakultas MIPA Universitas Tanjungpura  
Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Pontianak  
e-mail: <sup>[1]</sup>mazmiaa@student.untan.ac.id, <sup>[2]</sup>tedy\_rismawan@siskom.untan.ac.id, <sup>[3]</sup>irma.nirmala@siskom.untan.ac.id

### ABSTRAK

*Tomat varietas Servo adalah salah satu komoditas hortikultura yang dikenal mudah dibudidayakan karena daya adaptasinya yang tinggi dan umur tanaman yang relatif pendek. Namun, masalah utama dalam budidaya tanaman tomat adalah penyiraman yang tidak optimal, di mana kebutuhan air sering kali melebihi takaran yang diperlukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem penyiraman otomatis yang dapat mengatur intensitas air berdasarkan parameter suhu dan kelembaban tanah. Sistem ini memanfaatkan ESP32 sebagai microcontroller, dilengkapi dengan Sensor DHT11 untuk memantau suhu lingkungan dan Sensor FC-28 untuk mengukur kelembaban tanah. Pompa air DC 12V digunakan sebagai pengalir air, dan hasil pengukuran sensor dapat dipantau melalui layar LCD yang terpasang di dekat tanaman. Pengaturan kecepatan pompa dilakukan menggunakan Pulse Width Modulation (PWM), yang memungkinkan manipulasi lebar sinyal berdasarkan Duty Cycle antara 0% hingga 100%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Sensor DHT11 memiliki akurasi 96.64%, dengan waktu respon yang mempengaruhi akurasi tersebut. Sensor FC-28, di sisi lain, menunjukkan akurasi 96.73%, yang dipengaruhi oleh kestabilan dalam mendeteksi kelembaban tanah. Pengujian dilakukan pada berbagai posisi di sekitar tanaman tomat, menghasilkan lebar sinyal 0,8 detik untuk Sensor DHT11 dan 0,5 detik untuk Sensor FC-28. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas penyiraman tanaman tomat, mendukung pertumbuhan yang optimal.*

**Kata kunci :** Penyiraman Tanaman Tomat, *Pulse Width Modulation*, *Duty Cycle*, Sensor DHT11, Sensor FC-28

### 1. PENDAHULUAN

Tanaman tomat merupakan tanaman yang tergolong dalam kelompok sayuran. Kebutuhan pasar akan buah tomat terus meningkat, hal ini tidak lepas dari peranan tomat sebagai salah satu komoditas hortikultura yang sangat penting, yaitu terutama sebagai tanaman sayur. Agar tanaman tomat yang dibudidayakan dapat tumbuh dengan optimal, tanaman tomat

harus disiram secara teratur setiap hari dan takaran air sesuai dengan yang dibutuhkan tanaman tomat agar tanaman tomat tidak mudah terserang jamur.

Masalah penyiraman tanaman tomat secara mandiri menjadi perhatian utama yaitu, Petani sering mengalami kesulitan dalam penyiraman tanaman tomat secara mandiri. Salah satu masalah utama adalah ketidakmampuan untuk memantau tingkat

kelembaban tanah, yang menyebabkan kebutuhan air tanaman tidak terpenuhi. Selain itu, petani terkadang lupa untuk menyiram tanaman secara berkala, mengakibatkan pertumbuhan yang tidak optimal. Untuk mengatasi permasalahan ini, dirancang sistem penyiraman otomatis yang menggunakan metode Pulse Width Modulation (PWM). Dengan PWM, kecepatan pompa air dapat diatur secara presisi sesuai dengan kelembaban tanah yang terukur, sehingga memastikan tanaman tomat mendapatkan jumlah air yang dibutuhkan secara optimal dan mengurangi risiko penyiraman yang tidak konsisten.

Penelitian mengenai sistem penyiraman tanaman otomatis sebelumnya telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Penelitian pertama berjudul “Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis berbasis Sensor Kelembapan Tanah menggunakan Logika *Fuzzy*” [1], menggunakan website Thingspeak dimana data dari website dan serial monitor menunjukkan hasil yang serupa. Penelitian pertama juga memantau kesehatan tanaman tomat cherry menggunakan aplikasi Orange yang menentukan apakah data tes yang diberikan termasuk klasifikasi sehat atau tidak. Hasil penelitian pertama mencapai 87-90% dalam mengukur kesehatan tanaman tomat cherry. Untuk perbedaan pada penelitian pertama dan penelitian ini yaitu, *microcontroller* yang digunakan pada penelitian pertama adalah Arduino Uno R3 tapi *microcontroller* yang digunakan pada penelitian ini adalah NodeMCU ESP32.

Selanjutnya pada penelitian kedua berjudul “Sistem *Smart Monitoring* pada Budidaya Tomat Cherry di Media Tanah” [2], menggunakan *Moisture Probe* untuk mengukur kelembaban tanah, pompa air, dan menggunakan metode PWM sebagai pengatur kecepatan pada pompa air. Lalu pada software, penelitian ini menggunakan Arduino IDE sebagai Bahasa pemrogramannya dan menggunakan

metode Logika *Fuzzy* Sugeno sebagai penentu hasil dari kelembaban tanah yang diuji. Penelitian kedua mendapatkan hasil sebesar 51,64 pada kelembaban tanah 1 dan 53,76% pada kelembaban tanah untuk mengukur kelembaban tanah saat diukur menggunakan Sensor Suhu *Thermistor* dan Suhu Cahaya. Untuk perbedaan pada penelitian kedua dan penelitian ini yaitu, Sensor yang digunakan pada penelitian kedua berupa Suhu *Thermistor*, dan Suhu Cahaya tapi Sensor yang digunakan pada Penelitian ini adalah sensor DHT11.

Kemudian, untuk penelitian yang terakhir yaitu penelitian ketiga dengan judul “Pengaturan Kecepatan pada Motor *Brushless* DC (BLDC) menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*)” [3], menggunakan *Motor BrushLess DC* yang membutuhkan sumber listrik AC tiga fasa. Penelitian ketiga menggunakan metode PWM untuk mengatur kecepatan dan menggunakan Osiloscope untuk mengukur sinyal Arus, Tegangan, dan Antar Tegangan pada Motor *BrushLess* DC. Untuk perbedaan pada penelitian ketiga dan penelitian ini yaitu, metode *Pulse Width Modulation* pada penelitian ketiga digunakan pada motor *BrushLess* DC tapi metode *Pulse Width Modulation* pada penelitian ini digunakan pada pompa air DC 12V. Dari ketiga penelitian tersebut, beberapa sistem yang dibuat belum memiliki sistem monitoring dan kendali berdasarkan *Pulse Width Modulation*.

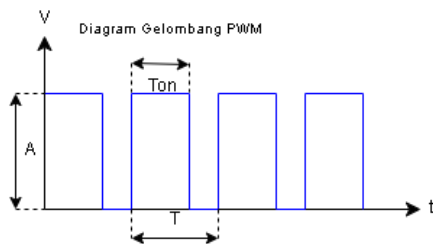
Berdasarkan dari latar belakang yang telah dipaparkan, maka perlu dirancang sebuah alat yang memudahkan petani untuk menyiram tanaman tomat secara otomatis, selain itu petani dapat mengontrol air yang keluar dari pompa air yang keluar dari pompa air secara otomatis menggunakan metode PWM.

## 2. LANDASAN TEORI

### 1. Metode *Pulse Width Modulation*

*Pulse Width Modulation* (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi

lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam satu periode, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Beberapa contoh aplikasi PWM adalah pemodulasian data untuk telekomunikasi, pengendalian daya atau tegangan yang masuk ke beban, regulator tegangan, *audio effect* dan penguatan, serta aplikasi-aplikasi lainnya [4]. Gambar 1 di bawah menunjukkan bentuk gelombang PWM.



Gambar 1. Diagram gelombang *Pulse Width Modulation*

Perubahan *Duty Cycle* akan mengubah tegangan keluaran atau tegangan rata-rata dari *Pulse Width Modulation* [5] dengan Persamaan 1, yaitu :

$$Duty\ Cycle = \left( \frac{T_{On}}{T_{On} + T_{Off}} \right) * 100\% \quad (1)$$

Modulasi lebar pulsa [5] dapat dicari menggunakan Persamaan 2 yaitu,

$$T_{total} = T_{On} + T_{Off} \quad (2)$$

Tegangan keluaran dapat bervariasi dengan *Duty Cycle* [5] menggunakan Persamaan 3 berikut.

$$V_{out} = Duty\ Cycle * V_{in} \quad (3)$$

Sehingga pada Persamaan 4 [5] akan terjadi menggunakan rumus:

$$V_{out} = V_{in} * \left( \frac{T_{On}}{T_{total}} \right) \quad (4)$$

Dari rumus di atas dapat disimpulkan bahwa tegangan keluaran dapat diubah-ubah secara langsung dengan mengubah nilai.

Untuk mendapatkan nilai aktif *Duty*

*Cycle* ( $T_{On}$ ) [5] dapat diawali pada Persamaan 4 sebagai berikut,

$$V_{out} = V_{in} * \left( \frac{T_{On}}{T_{total}} \right) \quad (5)$$

Dari Persamaan 5 di atas dapat disederhanakan menjadi Persamaan 6 dan 7 pada dua variabel yaitu  $T_{On}$  dan  $T_{Off}$  [5]. Pada persamaan 6, variabel  $T_{On}$  akan berubah sebagai berikut,

$$T_{On} = D * T \quad (6)$$

Pada Persamaan 7, variabel  $T_{Off}$  [5] akan berubah menjadi persamaan berikut,

$$T_{Off} = (1 - D) * T \quad (7)$$

Untuk membandingkan tegangan potensiometer dan tegangan masuk [5] maka didapatkan persamaan 8 sebagai berikut,

$$V_{out} * T_{Off} = V_{in} * T_{On} \quad (8)$$

Untuk menghitung tegangan pada potensiometer dan tegangan masuk [5] maka didapatkan penyelesaian dengan persamaan 9 yaitu,

$$V_{out} = \frac{V_{in} * D}{(1 - D)} \quad (9)$$

Untuk menghitung nilai *Duty Cycle* maka dimasukkan kembali Persamaan 1 dengan Persamaan 6 dan 7 menjadi Persamaan 10 sebagai berikut:

$$Duty\ Cycle = \left( \frac{T_{On}}{T_{On} + T_{Off}} \right) * 100\% \quad (10)$$

$$Duty\ Cycle = \left( \frac{D}{1 - D} \right) * 100\% \quad (11)$$

Untuk menghitung nilai PWM dari nilai *Duty Cycle* maka dimasukkan Persamaan 12.

$$PWM = D * 255 \quad (12)$$

## 2. Tanaman Tomat

Tomat varietas *Servo* (*Lycopersicon esculentum* Mill.) merupakan salah satu komoditas hortikultura yang mempunyai nilai ekonomis tinggi. Tanaman tomat mudah dibudidayakan karena memiliki daya adaptasi tinggi dan umur yang relatif pendek. Tomat varietas *Servo* merupakan salah satu jenis tomat sayur yang beradaptasi dengan baik di dataran rendah. Buahnya keras dengan rasa manis dan sedikit asam, namun tomat ini tahan terhadap *Geminivirus* [6]. Tanaman tomat pada umumnya dapat bertumbuh rata-rata pada suhu 24 sampai 28 *celcius* dan kelembaban tanah berada di sekitar 80%.



Gambar 2. Tanaman Tomat varietas Servo

## 3. NodeMCU ESP32

NodeMCU ESP32 merupakan microcontroller terintegrasi yang dikembangkan dari model ESP8266 dengan modul WiFi populer, fitur yang lengkap, dan kinerja yang tinggi. ESP32 memiliki dua prosesor komputasi, di mana satu prosesor digunakan untuk mengelola jaringan WiFi dan bluetooth, serta satu prosesor lainnya digunakan untuk menjalankan aplikasi. Microcontroller ESP32 memiliki keunggulan yaitu sistem berbiaya rendah, dan juga berdaya rendah dengan modul WiFi yang terintegrasi dengan chip microcontroller serta memiliki bluetooth dengan mode ganda dan fitur hemat daya menjadikannya lebih fleksibel. Modul ESP32 juga suatu papan prototipe

yang ringkas dan mudah diprogram melalui Arduino IDE maupun Python [7].



Gambar 3. NodeMCU ESP32

## 4. Sensor DHT11

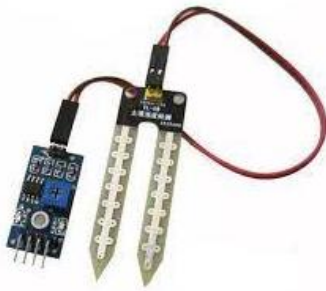
Sensor DHT11 adalah sensor dengan kalibrasi sinyal digital yang mampu memberikan informasi suhu dan kelembaban udara. Sensor ini tergolong komponen yang memiliki tingkat stabilitas yang sangat baik serta fitur kalibrasi yang sangat akurat [8].



Gambar 4. Sensor DHT11

## 5. Sensor FC-28

Sensor FC-28 (soil moisture) adalah sensor kelembaban yang mendeteksi kelembaban dalam tanah. Sensor ini sangat sederhana, tetapi ideal untuk memantau taman kota, atau tingkat air pada tanaman pekarangan. Sensor ini terdiri dua probe untuk melewatkan arus melalui tanah, kemudian membaca resistansinya untuk mendapatkan nilai tingkat kelembaban. Semakin banyak air membuat tanah lebih mudah mengantarkan listrik (resistansi besar). Sensor ini sangat membantu untuk mengingatkan tingkat kelembaban udara pada tanaman atau memantau kelembaban tanah [9].



Gambar 5. Sensor FC-28

## 6. Akurasi dan Galat

Galat atau biasa disebut *error* dalam metode numerik adalah selisih antara yang ditimbulkan antara nilai sebenarnya dengan nilai yang dihasilkan dengan metode numerik. Persamaan yang digunakan untuk mencari Galat atau *Error* [10] ditunjukkan pada persamaan 5.

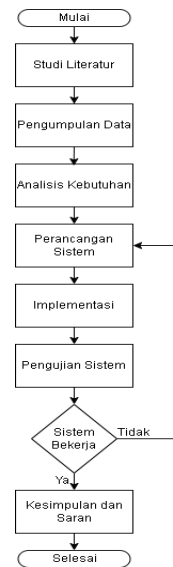
$$|\epsilon r| = \left| \frac{x' - x}{x'} \right| * 100 \quad (5)$$

Akurasi, presisi dan ketidakpastian hasil pengukuran merupakan parameter-parameter yang saling berkaitan satu sama lain, yang digunakan sebagai indikator unjuk kerja suatu metode pengujian. Ketidakpastian pengukuran mempunyai kontribusi yang cukup besar dalam menentukan akurasi dan presisi. Akurasi dapat dinyatakan sebagai ukuran seberapa dekat nilai hasil ukur rata-rata yang diperoleh dari sejumlah pengukuran berulang terhadap nilai sesungguhnya [11]. Persamaan yang digunakan untuk mencari akurasi [12] ditunjukkan pada Persamaan 6.

$$\text{Akurasi} = 100\% - \text{error rata - rata (\%)} \quad (6)$$

## 3. METODE PENELITIAN

Dalam merealisasikan penelitian ini, diperlukan beberapa tahap seperti yang ditunjukkan diagram alir pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir penelitian

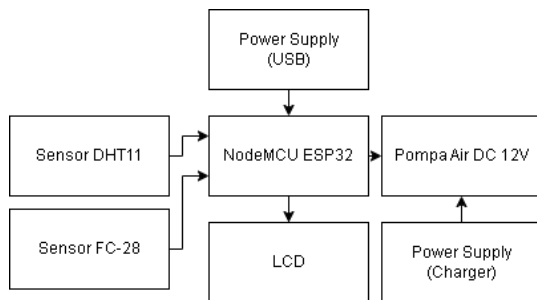
Penelitian ini dimulai dengan studi literatur dengan mengumpulkan jurnal ilmiah penelitian sebelumnya, buku-buku maupun artikel yang berkaitan dengan penelitian ini. Data yang dikumpulkan pada penelitian ini adalah sensor DHT11, dan sensor FC-28. Tahap analisis kebutuhan meliputi analisis kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak. Tahap perancangan sistem terdiri dari perancangan sistem kendali *relay*, perancangan sistem pembacaan suhu dan kelembapan udara, perancangan sistem pembacaan kelembapan tanah, dan perancangan perangkat lunak pada NodeMCU ESP32. Kemudian sistem diimplementasikan berdasarkan rancangan sistem yang telah dibuat. Kemudian dilakukan pengujian, pengujian yang dilakukan adalah pengujian sensor DHT11, dan sensor FC-28. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor dengan alat ukur.

## 4. PERANCANGAN

### 4.1. Perancangan sistem

Blok sistem dari Perancangan Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Untuk Pertanian Tanaman Tomat Menggunakan

Metode *Pulse Width Modulation* (PWM) ditunjukkan pada Gambar 7.



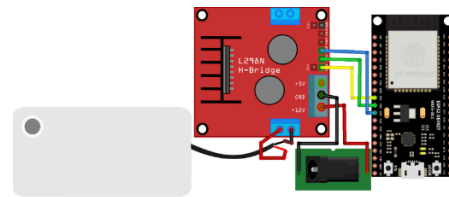
Gambar 7. Diagram Blok Sistem

Pada Gambar 7, sistem ini menggunakan NodeMCU ESP32 berfungsi sebagai sistem kendali dan *microcontroller* untuk mengolah data dari komponen pendukung lainnya, Sensor DHT11 berfungsi sebagai sensor pengukur suhu dan kelembaban udara di sekitar tanaman tomat, Sensor FC-28 berfungsi sebagai sensor pengukur kelembaban tanah yang ditempati oleh tanaman tomat, Pompa air DC 12V berfungsi sebagai alat untuk mengalirkan air, LCD berfungsi sebagai layar untuk menampilkan data dari sensor pada alat secara langsung.

## 4.2. Perancangan Perangkat Keras

### 4.2.1. Perancangan Kendali Pompa Air DC 12V

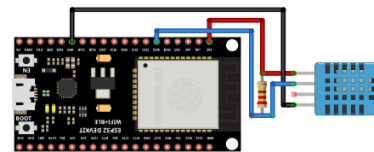
Pada perancangan kendali pompa air dc 12v, pompa air DC 12v berfungsi sebagai alat untuk mengalirkan air dari sumber ke tanaman yang akan diuji. Perancangan kendali pompa air DC 12v menggunakan perangkat tambahan berupa modul L298N H-Bridge Driver. Ketika terdapat perintah untuk membuka dan menutup keran dalam bentuk persentase dari metode PWM maka relay akan membuka pompa air berdasarkan persentase yang dibuka pada keran. Pada penelitian ini, L298N driver disetel untuk mengatur kecepatan pompa air. Tampilan Perancangan Kendali Pompa Air DC 12v dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Rancangan Penyiraman Tanaman Otomatis

### 4.2.2. Perancangan Pemantauan Suhu dan Kelembapan Udara

Pada perancangan pemantauan suhu dan kelembapan udara, digunakan sensor DHT11. Sensor DHT11 berfungsi untuk membaca temperatur dan kelembapan udara yang ada di sekitar tanaman tomat. Sensor tipe ini memiliki 3 pin yaitu VCC, GND, dan DAT. Tampilan dari perancangan pemantauan suhu dan Kelembapan Udara dapat dilihat pada Gambar 9.

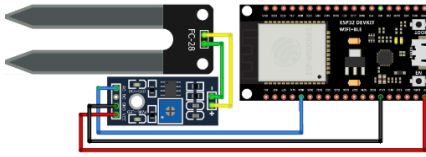


Gambar 9. Rancangan Pemantauan Suhu dan Kelembapan Udara

### 4.2.3. Perancangan Pemantauan Kelembaban Tanah

Pada perancangan pemantauan kelembaban tanah, digunakan sensor FC-28 (soil moisture). Sensor FC-28 berfungsi untuk mendeteksi kelembaban dalam tanah. Sensor tipe ini memiliki 2 mode yaitu digital dan analog dan juga sensor ini memiliki driver board tersendiri yang mengubah output dari pengukuran. Sensor FC-28 memiliki 4 pin yang tersambung pada driver boardnya yaitu AO, DO, VCC, dan GND. Tampilan dari perancangan pemantauan kelembaban tanah dapat dilihat dari Gambar 10.

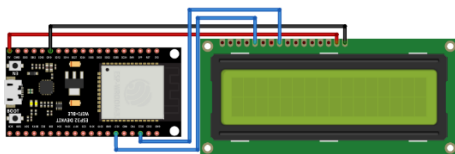




Gambar 10. Rancangan Pemantauan Kelembaban Tanah

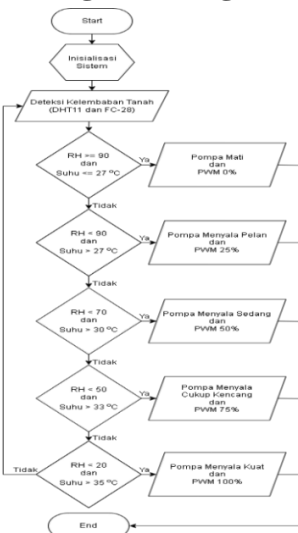
#### 4.2.4. Perancangan Antarmuka LCD

Pada perancangan tampilan antarmuka LCD, digunakan layar LCD. Layar LCD digunakan untuk menampilkan pembacaan data dari sensor secara langsung. Layar LCD memiliki layar dengan ukuran 16x2 yaitu 16 kolom dan 2 baris untuk menampilkan pembacaan data dari sensor. Tampilan dari perancangan tampilan antarmuka LCD dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Rancangan Tampilan Antarmuka Layar LCD

### 4.3. Perancangan Perangkat Lunak



Gambar 12. Diagram Blok Perangkat Lunak

Pada perancangan perangkat lunak, algoritma pemrograman bertujuan untuk menentukan alur program sebelum program dimasukkan ke dalam NodeMCU ESP32. Gambar 12 menunjukkan alur kerja dari Perangkat Lunak keseluruhan sistem pada NodeMCU ESP32.

Proses membaca data dari sensor dimulai dengan menginisialisasi sistem sensor yang terhubung dengan NodeMCU ESP32. Selanjutnya, sistem akan mendeteksi lingkungan sekitar tanaman tomat dan melakukan perbandingan dengan metode *Pulse Width Modulation*. Perbandingan yang akan diuji adalah perbandingan dari suhu, kelembapan udara, dan kelembapan tanah. Pada diagram blok perangkat lunak, RH atau *Relative Humidity* adalah satuan dari pengukuran kelembapan tanah. Apabila sensor suhu, kelembapan udara, dan kelembapan tanah berada pada suhu di bawah 33 derajat dan kelembapan tanah dengan tanah yang kering (0% *Relative Humidity*) maka pompa air akan menyala, namun apabila suhu berada di bawah 25 derajat dan kelembapan tanah dengan tanah yang basah (100% *Relative Humidity*) maka pompa air akan mati.

#### 4.4. Perhitungan Duty Cycle ke PWM

Perhitungan *Duty Cycle* ke PWM dilakukan dari pengukuran pada tegangan yang dialirkan pada pompa air dalam mode manual. Pengukuran terhadap pompa air dilakukan dengan mengukur tegangan pada potensiometer ( $V_{Out}$ ) dengan multimeter.

Dari nilai *Duty Cycle* dan PWM pada penelitian ini, pompa air akan menyala dengan kecepatan tertentu pada tegangan potensiometer ( $V_{Out}$ ) yang ditentukan jika:

1. Mati, yaitu  $V_{Out}$  bernilai lebih kecil dari 2.071V dengan *Duty Cycle* 0% dan nilai PWM kurang dari 160.
2. Pelan, yaitu  $V_{Out}$  bernilai lebih besar dari 2.071V dengan *Duty Cycle* 25% dan nilai PWM berada di antara 160

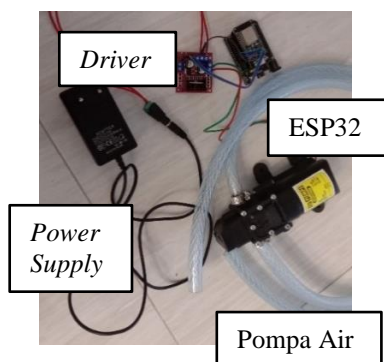
- dan 200.
3. Sedang, yaitu  $V_{Out}$  bernilai lebih besar 2.588V dengan *Duty Cycle* 50% dan nilai PWM berada di antara 200 dan 220.
  4. Cukup kencang, yaitu  $V_{Out}$  bernilai lebih besar 2.847V dengan *Duty Cycle* 75% dan nilai PWM berada di antara 220 dan 255.
  5. Maksimal, yaitu  $V_{Out}$  bernilai sama dengan 3.3V dengan *Duty Cycle* 100% dan nilai PWM sama dengan 255.

## 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1. Implementasi Sistem Otomatis

#### 5.1.1. Implementasi Sistem Kendali Otomatis

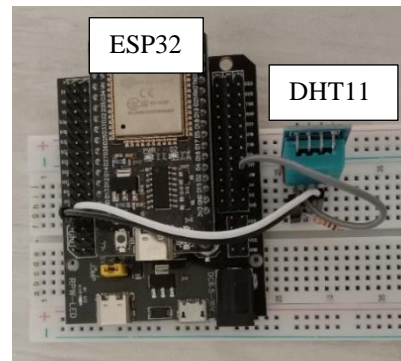
Gambar 13 merupakan implementasi Sistem Kendali Otomatis. Fungsi dari sistem kendali otomatis merupakan sistem yang akan diatur pada implementasi sistem kendali otomatis.



Gambar 13. Implementasi sistem kendali otomatis

#### 5.1.2. Implementasi Pemantauan Suhu dan Kelembaban Udara

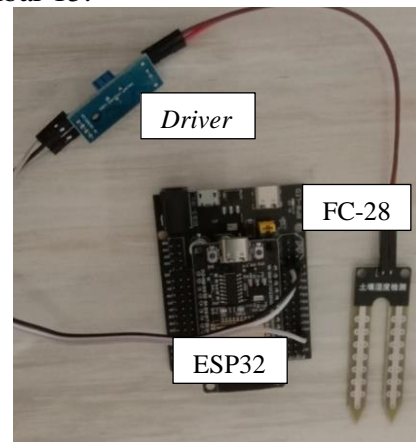
Pemantauan suhu dan kelembaban udara dipantau dari informasi pada sensor DHT11 yang menampilkan suhu dan kelembaban udara. Implementasi dari Pemantauan Suhu dan Kelembaban Udara ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Implementasi pemantauan suhu dan kelembaban udara

#### 5.1.3. Implementasi Pemantauan Kelembaban Tanah

Pemantauan kelembaban tanah dipantau dari informasi pada sensor FC-28 yang menampilkan kelembaban tanah. Implementasi dari Pemantauan Kelembaban Tanah ditunjukkan pada Gambar 15.

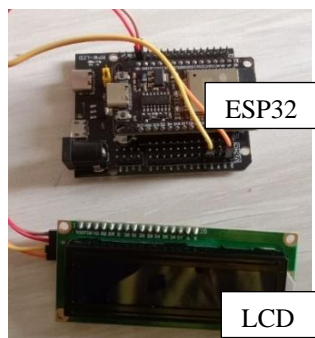


Gambar 15. Implementasi pemantauan kelembaban tanah

#### 5.1.4. Implementasi Antarmuka Layar LCD

Antarmuka layar LCD dapat dipantau dari output NodeMCU ESP32 pada kedua sensor yaitu DHT11 dan FC-28. Implementasi Antarmuka Layar LCD ditunjukkan pada Gambar 16.





Gambar 16. Implementasi antarmuka layar LCD

## 5.2. Pengujian

### 5.2.1. Pengujian Sensor DHT11

Sensor DHT11 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara disekitar tanaman dengan satuan *celcius* dan *Relative Humidity % (RH)*. Untuk mengetahui kemampuan sensor DHT11 dalam memantau suhu dan kelembapan udara dilakukan pengujian adalah alat yang bernama *Hygrometer Thermometer Humidity (HTH)*. Tabel 1 menampilkan rata-rata pengukuran sensor DHT11 dengan HTH.

Tabel 1. Perbandingan Sensor DHT11 dengan HTH

No.	Sensor		Selisih	Error (%)
	DHT11	HTH		
1	25.3	26.2	-0.9	3.557312
2	27.1	27.4	-0.3	1.107011
3	28.9	27.8	1.1	3.806228
4	29.8	28.3	1.5	5.033557
5	31.8	29.1	2.7	8.490566
6	32.3	30.5	1.8	5.572755
7	33.8	32.4	1.4	4.142012
8	34.7	33.9	0.8	2.305476
9	36.4	35.3	1.1	3.021978
10	37.9	36.4	1.5	3.957784
Rata-rata	31.8	30.73	1.07	3.364780

Dari hasil pengukuran diatas, didapatkan *error* rata-rata menggunakan persamaan (5) dan (6) sebesar 3.364780 dan akurasi sebesar 96.635220 %.

### 5.2.2. Pengujian Sensor FC-28

Sensor FC-28 (*soil moisture*) digunakan untuk mengukur kelembapan tanah pada tanaman yang diuji. Keluaran dari sensor ini adalah % RH yaitu pengukuran yang sama dengan pengukuran terhadap kelembapan udara. Untuk mengetahui kemampuan pengukuran sensor FC-28, dilakukan pengujian dengan perbandingan adalah alat ukur berupa *Soil moisture Meter pH Tester VT05 (SM Tester)*. Tabel 2 menampilkan hasil pengujian pada sensor FC-28 dengan SM Tester.

Tabel 2. Perbandingan Sensor FC-28 dengan SM Tester

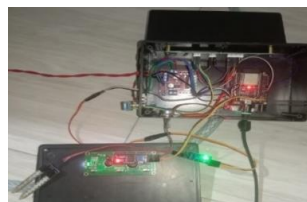
No.	Sensor		Selisih	Error (%)
	FC-28	SM Tester		
1	30.2	28.1	-2.1	7.473310
2	36.4	35.1	-1.3	3.703704
3	41.1	40.4	-0.7	1.732673
4	45.6	44.3	-1.3	2.934537
5	50.3	49.4	-0.9	1.821862
6	57.3	55.4	-1.9	3.429603
7	60.4	58.2	-2.2	3.780069
8	63.4	61.2	-2.2	3.594771
9	68.6	66.9	-1.7	2.541106
10	70.3	69.1	-1.2	1.736614
Rata-rata	52.36	50.81	-1.55	3.274825

*Error* rata-rata yang didapatkan pada pengujian sensor FC-28 menggunakan persamaan (5) dan (6) didapatkan *error*

rata-rata sebesar 3.274825 dan akurasi sebesar 96.725175 %.

### 5.2.3. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem merupakan penggabungan dari semua proses-proses pengujian sebelumnya. Proses pengujian menggunakan NodeMCU ESP32 yang terhubung dengan Sensor DHT11, Sensor FC-28, Layar LCD, dan L293N Driver. Implementasi keseluruhan Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Untuk Pertanian Tanaman Tomat Menggunakan Metode Pulse Width Modulation (PWM) ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Keseluruhan Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis

Pengujian dilakukan dengan mengukur suhu dan kelembaban tanah pada tanaman tomat servo. Ketika kedua sensor mendapatkan informasi pada tanaman tomat yang diuji, maka pompa air akan mengalir dengan kecepatan tertentu sesuai dengan PWM yang diberikan. Hasil pengujian keseluruhan sistem ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem

No	Waktu	Alat Ukur		Sensor		PWM	Keterangan Kecepatan Pompa
		HTH (C)	K. Tanah (RH %)	DHT11 (C)	FC-28 (RH %)		
1	13/5/2024 07:35	28.5	67.3	29.6	69.1	160	Pelan
2	13/5/2024 08:00	29.3	81.1	30.2	82.3	200	Sedang
3	13/5/2024 08:25:	29.8	80.8	30.9	81.9	200	Sedang
4	13/5/2024 08:55	30.1	80.4	31.2	81.3	200	Sedang
5	13/5/2024 11:44	34.0	64.3	34.9	65.5	220	Cukup Kencang
6	13/5/2024 12:25	34.5	62.7	35.3	63.4	220	Cukup Kencang
7	13/5/2024 12:48	30.1	62.1	30.9	62.9	200	Sedang
8	13/5/2024 13:10	29.9	61.7	30.6	62.3	200	Sedang
9	13/5/2024 15:15	28.5	53.2	29.6	54.6	160	Pelan
10	13/5/2024 15:40	28.1	79.1	29.0	80.4	160	Pelan
11	13/5/2024 16:15	27.7	78.6	28.8	80.1	160	Pelan
12	13/5/2024 16:45	27.9	77.8	28.7	79.7	160	Pelan

Pada pengujian keseluruhan sistem, pengujian dilakukan sebanyak dua belas kali dan lokasi pengujian berada di *Smart Garden* FMIPA UNTAN. Pengujian menggunakan alat ukur sebagai pembanding data dari sensor, data-data yang diuji adalah suhu dan kelembaban tanah. Jarak interval dari tiap pengujian berkisar antara 25 ~ 45 menit. Pompa air mulai menyala ketika diberikan PWM sebesar 160 hingga 255. Pada pengujian pertama, hasil pengukuran sensor suhu bernilai 29.6 *celcius* dan sensor kelembaban tanah bernilai 69.1 maka PWM yang dikeluarkan pada pompa air bernilai 160. Dengan PWM bernilai 160, pompa air menyala dengan kecepatan Pelan.

### 5.3. Pembahasan

Pada Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis untuk Pertanian Tomat menggunakan Metode Pulse Width Modulation (PWM), terdapat dua sensor, yaitu DHT11 dan FC-28 (soil moisture), yang berfungsi mengatur suhu dan kelembaban tanah. Data dari kedua sensor diolah pada NodeMCU ESP32 dan ditampilkan secara langsung di layar LCD.

Pengujian sensor DHT11 dilakukan sepuluh kali per sampel, menghasilkan kesalahan rata-rata 0.042885%, dengan kesalahan tertinggi pada suhu 31.8°C. Suhu tinggi dapat mempengaruhi waktu respon pengukuran, sedangkan error terkecil ditemukan pada suhu rendah 27.1°C.

Sensor FC-28 mengalami variasi data yang signifikan, terutama di awal pengujian, sering menunjukkan nilai minus. Hasil pengukuran juga tergantung pada lokasi penanaman sensor. Pada tanah kering, sensor awalnya menunjukkan kondisi kering, namun kemudian mendeteksi kelembaban. Ketidakstabilan ini berdampak pada keseluruhan pengujian, di mana sensor memberikan hasil berbeda di beberapa titik kelembaban.

## 6. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah berhasil dibuat Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis untuk Pertanian Tanaman Tomat menggunakan Metode Pulse Width Modulation yang mana dapat memantau suhu, dan kelembaban tanah pada tanaman Tomat. Untuk masalah yang ditemui yaitu akurasi dari seluruh sensor yaitu 96.64% pada Sensor DHT11 dan 96.73% pada Sensor FC-28 karena waktu respon, dan pengetesan pada titik tanah yang berbeda-beda.
2. Peran PWM dapat mengendalikan penyiraman tanaman tomat dengan mengatur kecepatan pompa air melalui pengaturan mode otomatis dan manual. Hasil dari PWM yang didapatkan dari penelitian ini yaitu pompa air akan menyala jika PWM bernilai 160, dan kecepatannya akan meninggi jika PWM berada di atas nilai 200, dan 220, lalu kecepatan maksimal pada nilai 255.

### 6.2. Saran

Berikut beberapa saran yang dapat diambil dari hasil pengujian yang dilakukan antara lain:

1. Menggunakan Mist Maker sebagai keluaran dari sistem yang diukur melalui sensor DHT11 agar dapat mengubah suhu dan kelembapan udara di sekitar tanaman tomat.
2. Menggunakan Aplikasi android untuk melihat hasil pembacaan data oleh sensor dan mengontrol pompa air secara otomatis atau manual dari jarak jauh. Pada penelitian ini, layar LCD digunakan sebagai output dari data-data yang diambil dari seluruh sensor beserta keluaran PWM pada pompa air.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. B. Mursalin, "Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis berbasis Sensor Kelembaban Tanah menggunakan Logika Fuzzy," *Jurnal Ilmiah Informatika Global Vol. 11*, 2020.
- [2] M. Zefanya, "Sistem Smart Monitoring pada Budidaya Tomat Cherry di Media Tanah," *Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi*, 2023.
- [3] D. Akbar, "Pengaturan Kecepatan pada Motor Brushless DC (BLDC) menggunakan PWM (Pulse Width Modulation)," *Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO)*, 2018.
- [4] D. Saripurna, "Sistem Cerdas Pemanggang Jagung Semi Otomatis berbasis Mikrokontroler menggunakan Metode PWM (Pulse Width Modulation)," *Sains dan Komputer (SAINTIKOM)*, 2019
- [5] Nurqalbi, "Desain Simulasi Konverter Buck-Boost Berbasis Pwm (Pulse Width Modulation)," *Journal Innovation Research and Knowledge*, 2024.
- [6] Sulistyowati, "Pertumbuhan dan Produksi Tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Varietas Servo pada Frekuensi Penyiraman yang Berbeda," *Buletin Anatomi dan Fisiologi*, 2021.
- [7] S. A. Arrahma, "Pengujuan ESP32-Cam Berbasis Mikrokontroler ESP32," *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 2023.
- [8] K. S. Budi, "Pengembangan Sistem Akuisisi Data Kelembaban dan Suhu dengan menggunakan Sensor DHT11 dan Arduino berbasis IoT," *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, 2017.
- [9] Husdi, "Monitoring Kelembaban Tanah Pertanian menggunakan Soil Moisture Sensor FC-28 dan Arduino Uno," *ILKOM Jurnal Ilmiah*, 2018.
- [10] A. H. Saptadi, "Perbandingan Akurasi Pengukuran Suhu dan Kelembaban Antara Sensor DHT11 dan DHT22 Studi Komparatif pada Platform ATMEL AVR dan Arduino," *Jurnal Infotel*, 2014.
- [11] N. Sadikin, "Smarthome Using Android Smartphone, Arduino Uno Microcontroller and Relay Module," *Journal of Physics*, 2018.
- [12] B. E. Cahyono, "Karakterisasi Sensor LDR dan Aplikasinya pada Alat Ukur Tingkat Kekeruhan Air Berbasis Arduino UNO," *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 2019.