

# PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM PENYIRAMAN TANAMAN HIAS OTOMATIS MENGGUNAKAN PANEL SURYA SEBAGAI SUMBER ENERGI

Akbar Ahmad Tahrit; Umar, S.T.,M.T

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah  
Surakarta

## Abstrak

Sektor hortikultura memerlukan sistem irigasi yang efisien untuk menjaga kelembapan tanah dan mendukung produktivitas tanaman. Penelitian ini bertujuan merancang sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan memanfaatkan energi surya sebagai sumber daya utama. Sistem menggunakan ESP32, panel surya, baterai 12 V 12 Ah, *Solar Charge Controller* (SCC), sensor kelembapan tanah, sensor INA219, dan modul RTC. Pengendalian penyiraman menerapkan metode *hysteresis control* dengan dua variasi nilai ambang, yaitu ON <45% dan OFF  $\geq$ 75% serta ON <35% dan OFF  $\geq$ 70%. Data hasil pemantauan ditampilkan pada LCD I2C dan dikirim ke aplikasi Blynk serta *Firestore* secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi ON <45% dan OFF  $\geq$ 75% memberikan kinerja yang lebih baik dengan rata-rata kelembapan tanah sebesar 57,64%, penggunaan air sebesar 132 L, dan konsumsi energi sebesar 23,10 Wh. Sementara itu, variasi ON <35% dan OFF  $\geq$ 70% menghasilkan rata-rata kelembapan tanah sebesar 52,78%, penggunaan air sebesar 148 L, dan konsumsi energi sebesar 25,91 Wh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi ON <45% dan OFF  $\geq$ 75% lebih efektif dalam menjaga kelembapan tanah dengan penggunaan air dan energi yang lebih efisien, sehingga mendukung penerapan sistem irigasi cerdas berbasis energi surya.

**Kata Kunci:** Internet of Things (IoT), Irigasi Otomatis, Hysteresis Control, ESP32, Energi Surya, Kelembapan Tanah.

## Abstract

The horticulture sector requires efficient irrigation systems to maintain soil moisture and support crop productivity. This study aims to design an Internet of Things (IoT)-based automatic plant watering system powered primarily by solar energy. The system utilizes an ESP32, a solar panel, a 12V 12Ah battery, a Solar Charge Controller (SCC), a soil moisture sensor, an INA219 sensor, and an RTC module. Watering control employs a hysteresis control method with two threshold variations: ON <45% / OFF  $\geq$ 75% and ON <35% / OFF  $\geq$ 70%. Monitoring data is displayed on an I2C LCD and transmitted in real-time to the Blynk and Firestore applications. Test results indicate that the ON <45% / OFF  $\geq$ 75% variation yields superior performance, achieving an average soil moisture of 57.64%, water usage of 132 L, and energy consumption of 23.10 Wh. In contrast, the ON <35% / OFF  $\geq$ 70% variation results in an average soil moisture of 52.78%, water usage of 148 L, and energy consumption of 25.91 Wh. The findings demonstrate that the ON <45% / OFF  $\geq$ 75% variation is more effective at maintaining soil moisture while utilizing water and energy more efficiently, thereby supporting the implementation of solar-powered smart irrigation systems.

**Keywords:** Internet of Things (IoT), Automatic Irrigation, Hysteresis Control, ESP32, Solar Energy, Soil Moisture.

## 1. PENDAHULUAN

Tanaman adalah tumbuhan yang dipelihara dan dirawat untuk diambil manfaat atau dipanen ketika telah mencapai waktu tertentu. Tanaman memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan manusia. Pertanian merupakan sektor yang sangat penting untuk menunjang persediaan pangan masyarakat. Keberhasilan dalam bidang pertanian turut dipengaruhi oleh ketersediaan air dan pengelolaan pengairan pada lahan. Adanya potensi persebaran sumber daya air yang tidak merata, mengakibatkan lahan pertanian tidak mendapatkan pengairan dengan baik sehingga produktivitas tanaman menjadi tidak maksimal (Syafi'i et al., 2024).

Dalam bidang pertanian dan perkebunan, khususnya pada tanaman, ketersediaan air merupakan hal yang sangat penting. Tanaman tidak dapat tumbuh dan berkembang secara optimal apabila kadar air dalam tanah tidak sesuai dengan kebutuhannya. Oleh karena itu, penyiraman perlu dilakukan secara teratur. Ketersediaan air harus benar-benar diperhatikan, karena kekurangan air dapat menyebabkan bibit menjadi kering hingga akhirnya mati. Sebaliknya, kelebihan air juga berdampak buruk karena dapat menyebabkan bibit membusuk. Dengan terpenuhinya kebutuhan air secara tepat, tanaman akan mampu tumbuh, berbuah, dan berkembang dengan baik (Hendra Setyawan et al., 2019).

Pertanian yang berkelanjutan dan produktif adalah tujuan utama bagi banyak negara. Smart irigasi membantu meningkatkan produktivitas pertanian dengan memastikan tanaman mendapatkan air yang cukup tanpa over-irigasi yang dapat merusak tanaman (Juhan et al., 2024).

Di lapangan, sistem penyiraman masih banyak dilakukan secara manual oleh petani, yang tidak hanya memakan waktu dan tenaga, tetapi juga rentan terhadap ketidaktepatan waktu dan volume air yang diberikan. Hal ini menjadi permasalahan tersendiri, terutama ketika lahan pertanian cukup luas atau petani memiliki keterbatasan sumber daya. Selain itu, perubahan iklim yang tidak menentu menambah tantangan dalam menentukan waktu penyiraman yang ideal. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem yang dapat bekerja secara otomatis dan menyesuaikan kebutuhan air tanaman secara *real-time* (Akbar Firmansyah & Budiman, 2025).

Sistem irigasi otomatis berbasis IoT menggunakan ESP32 dan sensor kelembapan tanah untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air dalam pertanian *greenhouse*. Penelitian ini juga akan mengukur sejauh mana sistem ini dapat mengurangi konsumsi air, biaya operasional, dan energi, serta mengevaluasi potensi penerapan teknologi ini dalam skala luas (Pradana et al., 2025).

Sensor kelembapan tanah atau soil moisture digunakan untuk menyala matikan solenoid

valve, solenoid valve inilah yang nantinya akan menyiram tanamannya. Dengan adanya sistem ini, tidak perlu bolak-balik untuk menyirami tanaman saat kering. Alasan pengukuran kelembapan tanah untuk memonitoring keadaan tanah dan juga mengaktifkan dan menonaktifkan solenoid valve pada keadaan tertentu agar tanaman tetap tumbuh dan terjaga kelembapan tanah (Yudiana et al., 2024).

Di sisi lain, panel surya mampu menekan biaya operasional petani terkait kebutuhan air. Namun, sistem tersebut masih memiliki keterbatasan karena belum dilengkapi dengan sistem monitoring dan masih bergantung pada pasokan listrik PLN (Gunawan & Astutik, 2025). Lebih lanjut, sistem monitoring energi menjadi bagian penting dalam mengevaluasi kinerja sistem secara keseluruhan. Dengan adanya sensor energi yang mampu mengukur parameter seperti tegangan, arus, dan daya, penggunaan energi pada pompa serta energi yang dihasilkan oleh panel surya dapat dipantau dan dianalisis secara lebih akurat. Menurut (Abduh et al., 2024), pemantauan parameter kelistrikan berupa arus, tegangan, dan daya secara berkelanjutan dapat digunakan untuk mengevaluasi performa operasional sistem PLTS serta mendukung proses monitoring jarak jauh berbasis *Internet of Things* (IoT). Dengan demikian, data energi yang diperoleh dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, dan performa sistem secara keseluruhan.

Selain itu, ada penelitian yang menunjukkan bahwa sistem irigasi berbasis *IoT* mampu menjaga kelembapan tanah pada kondisi optimal melalui pemantauan berbasis sensor secara kontinu. Bahkan, sistem irigasi otomatis dilaporkan mampu menghemat penggunaan air hingga lebih dari 30% dibandingkan metode manual serta meningkatkan produktivitas tanaman secara signifikan (Akanbi et al., 2025). Kondisi ini mengindikasikan bahwa sistem otomatis memiliki keunggulan yang signifikan dalam mendukung pertanian yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Meskipun demikian, selama proses pengujian masih ditemukan beberapa kondisi yang dapat memengaruhi kinerja sistem. terkadang penyiraman dilakukan secara manual melalui antarmuka aplikasi MQTT Dash dalam rangka pengujian, atau karena sistem menggunakan perbandingan logika yang terlalu longgar, seperti  $\geq 50\%$ , yang menyebabkan ambiguitas dalam pengambilan keputusan. Untuk mencegah kesalahan serupa, sebaiknya dilakukan penyempurnaan logika kontrol dengan menambahkan zona toleransi (*hysteresis*) agar sistem tidak terlalu sensitif terhadap nilai ambang, serta pencatatan aktivitas manual agar dapat dibedakan dari fungsi otomatis. Dari sisi teori, sistem ini merupakan bagian dari konsep *Internet of Things* (IoT), yang memungkinkan perangkat fisik seperti sensor dan aktuator saling berkomunikasi melalui jaringan internet (Candradewani et al., 2025).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan sistem

penyiraman membangun tanaman hias otomatis berbasis *IoT* yang mampu mengontrol penyiraman tanaman hias berdasarkan kondisi kelembapan tanah. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis efisiensi penggunaan air dan energi melalui perbandingan disaat tidak menggunakan mode *hysteresis* dan menggunakan mode *hysteresis*, sehingga dapat diketahui kinerja sistem yang dikembangkan.

## 2. METODE

### a. Tahapan Penelitian.

Penelitian ini menggunakan metode pendekatan *prototyping*, yaitu dengan merancang, membangun, dan menguji sistem secara langsung untuk mengetahui kinerja sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things (IoT)*. Metode ini dipilih karena mampu menggambarkan kondisi nyata dari sistem yang dikembangkan melalui pengujian dan pengambilan data secara langsung.

Tahapan penelitian meliputi studi literatur, perancangan sistem, pembuatan alat, pengujian sistem, serta analisis data. Setiap tahapan dilakukan secara sistematis untuk memastikan bahwa sistem yang dirancang dapat bekerja sesuai dengan tujuan penelitian.

### b. Alat dan Bahan

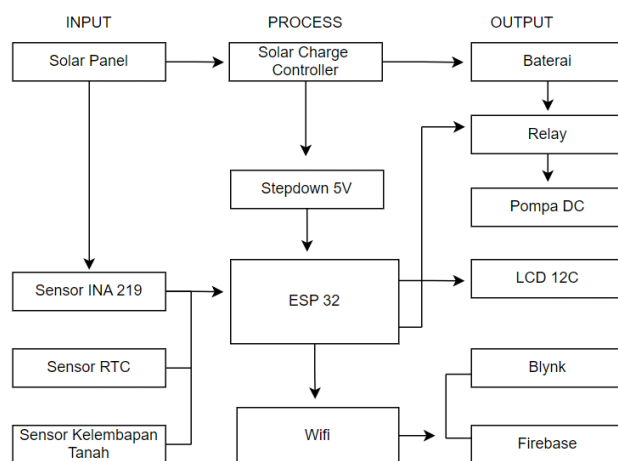
Dalam penelitian ini terdiri dari beberapa komponen yang mendukung keberhasilan kinerja sistem irigasi otomatis. Pemilihan komponen dilakukan menyesuaikan kebutuhan penelitian. Daftar alat dan bahan yang digunakan tertera pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Alat dan Bahan

| No | Alat dan Bahan              | Jumlah |
|----|-----------------------------|--------|
| 1  | Panel Surya 50Wp            | 1      |
| 2  | Pompa DC 12V                | 1      |
| 3  | Battery 12V 12Ah            | 1      |
| 4  | Solar Charge Controller 12V | 1      |
| 5  | ESP 32                      | 1      |
| 6  | Sensor Kelembapan Tanah     | 1      |
| 7  | Sensor INA219               | 1      |
| 8  | Sensor RTC                  | 1      |
| 9  | Relay 5V                    | 1      |
| 10 | MCB 2P                      | 3      |

| No | Alat dan Bahan  | Jumlah |
|----|-----------------|--------|
| 11 | LCD I2C 16X2    | 1      |
| 12 | Stepdown DC 12V | 1      |
| 13 | Voltmeter DC    | 1      |

### c. Blok Diagram Sistem

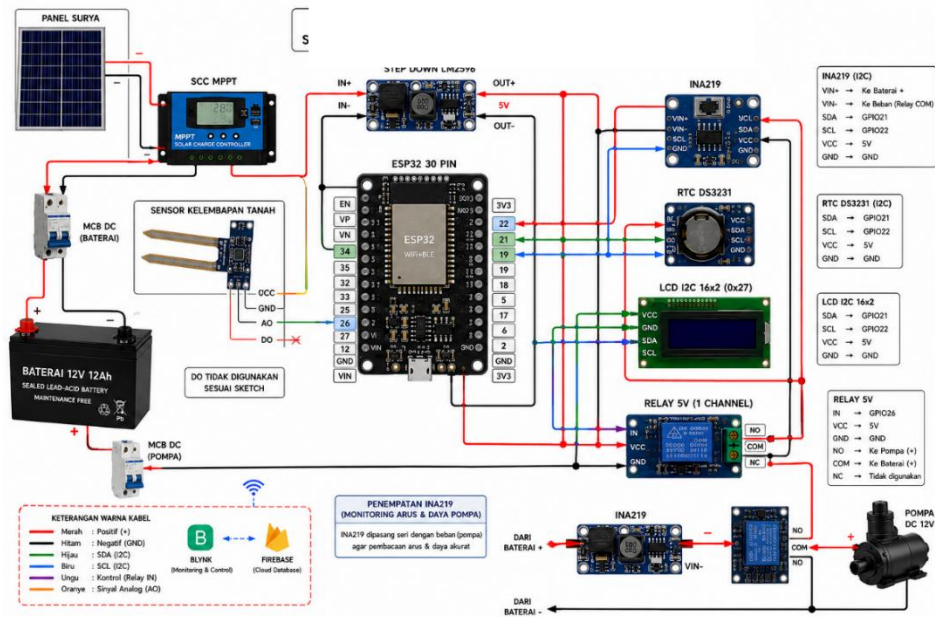


Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Gambar 1 menunjukkan bahwa sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis *IoT* ini dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu input, proses, dan output. Pada bagian input, digunakan beberapa sensor seperti *soil moisture* untuk mengetahui kelembapan tanah, INA219 untuk membaca tegangan, arus, dan daya dari panel surya, serta modul RTC untuk menyediakan informasi waktu secara real-time berupa jam, menit, detik, tanggal, bulan, dan tahun. Semua data dari sensor kemudian dikirim ke ESP32 sebagai pusat kontrol untuk diolah. Sistem bekerja dalam dua mode, yaitu otomatis dan manual. Pada mode otomatis pompa akan menyala saat tanah kering dan mati saat sudah cukup lembab, sedangkan pada mode manual pompa dikendalikan langsung oleh pengguna melalui aplikasi Blynk. Hasil pengolahan data kemudian digunakan untuk mengontrol relay sebagai penggerak pompa, lalu ditampilkan pada LCD dan aplikasi sehingga dapat dipantau secara *real-time*. Selain itu, data hasil pemantauan seperti kelembapan tanah,

tegangan, arus, daya, serta informasi waktu dikirim dan disimpan ke *Firestore* sebagai basis data berbasis *cloud* sehingga data dapat diakses dan dipantau secara online. Data yang tersimpan pada *Firestore* kemudian di-backup secara otomatis ke *Google Spreadsheet* untuk menyimpan riwayat pemantauan dan aktivitas penyiraman. Sistem ini menunjukkan bahwa penyiraman dapat dilakukan secara lebih tepat sesuai kondisi tanah serta penggunaan air dan energi menjadi efisien.

#### d. Perancangan Hardware

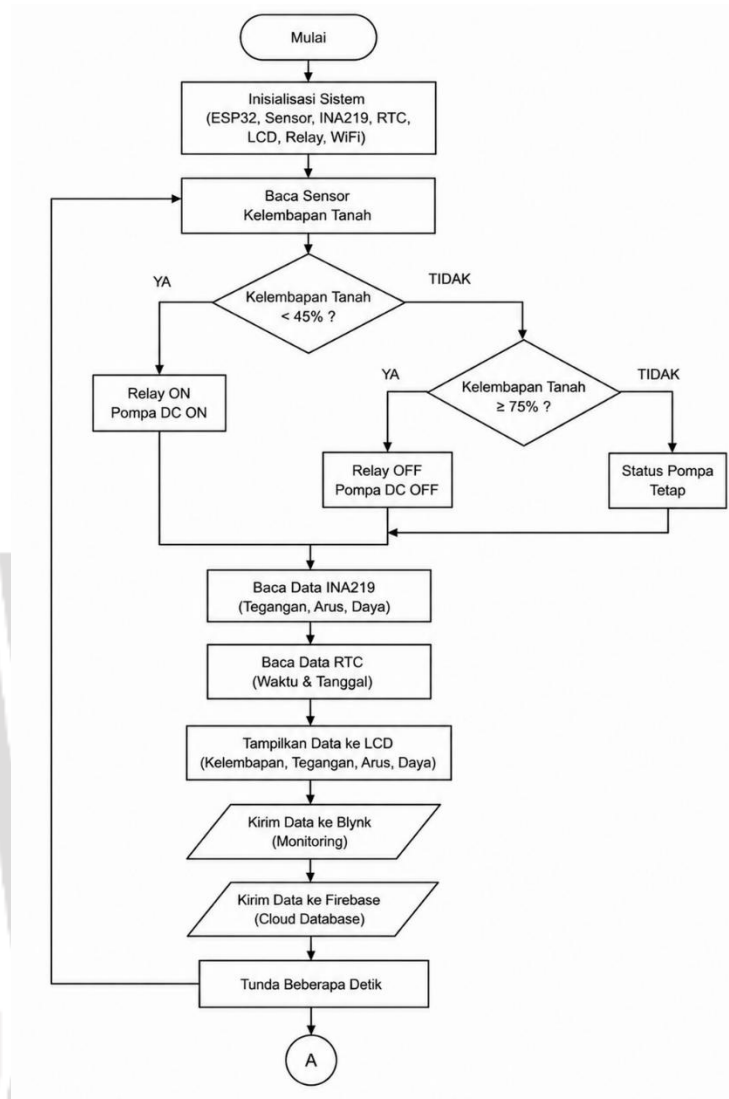


Gambar 2. Perancangan Hardware

Gambar 2 menunjukkan perancangan *hardware* sistem penyiraman tanaman otomatis yang memanfaatkan panel surya sebagai sumber energi utama untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air dan listrik. Energi dari panel surya diatur oleh *Solar Charge Controller* (SCC) untuk mengisi baterai sekaligus menyuplai daya ke seluruh sistem, dengan tambahan MCB sebagai pengaman. Sistem dikendalikan oleh ESP32 yang mendapat tegangan dari SCC melalui modul *step-down*. Untuk monitoring, digunakan sensor INA219 pada sisi panel surya guna mengukur tegangan, arus, dan daya, sedangkan sensor *soil moisture* menjadi acuan utama dalam mengontrol penyiraman otomatis, sehingga pompa akan menyala saat tanah kering dan mati saat kelembapan cukup, serta dapat dikendalikan manual melalui tombol. Seluruh data ditampilkan pada LCD dan dikirim ke aplikasi Blynk sehingga sistem dapat dipantau secara *real-time* melalui *smartphone*. Data tersebut juga disimpan pada *Firestore* sebagai basis data berbasis *cloud* dan secara otomatis di-backup ke *Google Spreadsheet* untuk keperluan penyimpanan riwayat, dokumentasi, serta analisis data penyiraman dan performa sistem.



### e. Perancangan Software



Gambar 3. Diagram Alir Program

Gambar 3 menunjukkan alur kerja sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) yang diawali dengan proses inisialisasi seluruh komponen sistem, meliputi ESP32, sensor INA219, sensor RTC, sensor kelembapan tanah, relay, LCD I2C, dan koneksi WiFi. Setelah inisialisasi selesai, sistem membaca nilai kelembapan tanah sebagai parameter utama dalam pengendalian penyiraman, kemudian ESP32 membandingkan nilai tersebut dengan variasi nilai ambang (*threshold*) metode *hysteresis control* yang digunakan dalam penelitian, yaitu ON <45% dan OFF ≥75% serta ON <35% dan OFF ≥70%. Pada masing-masing variasi, pompa akan aktif ketika kelembapan tanah berada di bawah batas bawah dan akan tetap bekerja hingga kelembapan mencapai batas atas, sedangkan pada rentang di antara kedua batas tersebut status pompa dipertahankan sesuai kondisi sebelumnya untuk mencegah terjadinya ON-OFF berulang akibat fluktuasi pembacaan sensor. Setelah proses pengendalian pompa, sistem membaca data tegangan,

arus, dan daya dari sensor INA219 serta informasi waktu dari modul RTC, kemudian seluruh data diproses oleh ESP32, ditampilkan pada LCD I2C, dan dikirim melalui jaringan WiFi ke aplikasi Blynk serta Firebase untuk pemantauan dan penyimpanan data secara *real-time*. Proses ini berlangsung secara terus-menerus sehingga memungkinkan dilakukan perbandingan kinerja kedua variasi nilai ambang *hysteresis control* berdasarkan durasi penyiraman, frekuensi kerja pompa, konsumsi air, konsumsi energi, dan kemampuan sistem dalam mempertahankan kelembapan tanah, sehingga dapat ditentukan konfigurasi nilai ambang yang memberikan kinerja paling efektif pada sistem penyiraman otomatis berbasis energi surya.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan untuk menganalisis kinerja sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things (IoT)* dalam mengontrol kelembapan tanah, penggunaan air, serta konsumsi energi. Selain itu, dilakukan analisis perbandingan kinerja sistem dengan variasi nilai ambang menggunakan metode *hysteresis* untuk mengetahui tingkat efisiensi sistem.

#### 3.1 Pembuatan Alat

Alat ini dirancang untuk mengimplementasikan sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things (IoT)* yang memanfaatkan energi surya sebagai sumber daya utama sekaligus mendukung pengujian perbandingan kinerja sistem menggunakan dua variasi nilai ambang dengan metode *hysteresis control*. Seluruh komponen ditempatkan di dalam box panel agar lebih rapi, aman, dan mudah dalam proses pemeliharaan. Energi listrik yang dihasilkan panel surya diatur oleh *Solar Charge Controller (SCC)* untuk mengisi baterai 12 V 12 Ah sekaligus menyuplai daya ke seluruh rangkaian sistem, sedangkan MCB dipasang pada jalur panel surya, baterai, dan beban pompa sebagai sistem proteksi terhadap arus lebih maupun hubung singkat. Kinerja sumber daya dipantau menggunakan sensor INA219 yang mengukur tegangan, arus, dan daya secara *real-time*, sementara ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali yang mengolah data dari sensor kelembapan tanah, sensor INA219, dan modul RTC DS3231. Data hasil pembacaan sensor ditampilkan pada LCD I2C serta dikirim melalui jaringan WiFi ke aplikasi Blynk dan Firebase untuk pemantauan dan penyimpanan data secara daring. Sistem pengendalian penyiraman menerapkan metode *hysteresis control* dengan dua variasi nilai ambang, yaitu ON  $<45\%$  dan OFF  $\geq 75\%$  serta ON  $<35\%$  dan OFF  $\geq 70\%$ , untuk membandingkan pengaruh masing-masing konfigurasi terhadap kinerja sistem. Pada setiap variasi, pompa akan aktif ketika kelembapan tanah berada di bawah batas bawah (*ON threshold*) dan akan tetap bekerja hingga kelembapan mencapai batas atas (*OFF*



*threshold*), sedangkan pada rentang di antara kedua batas tersebut status pompa dipertahankan sesuai kondisi sebelumnya untuk menghindari proses ON-OFF berulang akibat fluktuasi pembacaan sensor. Melalui mekanisme tersebut, sistem mampu melakukan penyiraman otomatis sekaligus menghasilkan data yang digunakan untuk membandingkan durasi penyiraman, konsumsi air, konsumsi energi, frekuensi kerja pompa, serta kemampuan masing-masing variasi nilai ambang dalam mempertahankan kelembapan tanah. Dengan rancangan ini, konfigurasi *hysteresis control* yang memberikan kinerja paling efektif dapat ditentukan berdasarkan hasil pengujian penggunaan air, energi, dan kestabilan kelembapan tanah.



Gambar 4. Tampilan Rangkaian Alat



Gambar 5. Tampilan Rangkaian Elektronika

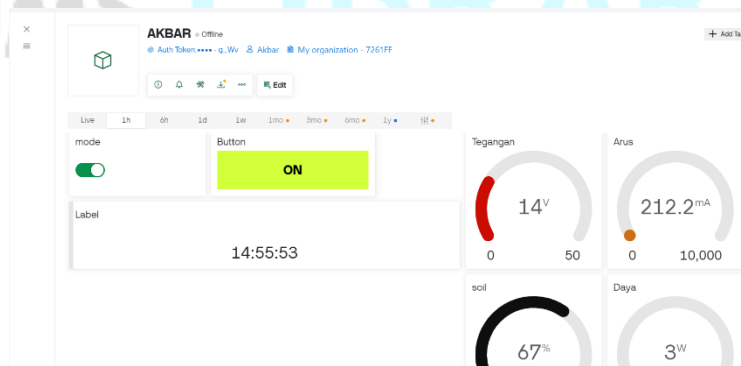
### 3.2 Tampilan Program dan *Internet of Things (IoT)*

Sistem IoT pada alat ini diprogram menggunakan Arduino IDE dengan ESP32 sebagai pusat kendali untuk membaca data sensor dan mengatur proses penyiraman tanaman secara otomatis. ESP32 menerima data dari sensor INA219 yang digunakan untuk memantau parameter listrik berupa tegangan, arus, dan daya pada sistem berbasis energi surya. Selain itu, ESP32 juga membaca nilai kelembapan tanah sebagai parameter utama dalam menentukan kebutuhan penyiraman tanaman serta memanfaatkan modul RTC sebagai penyedia informasi waktu untuk pencatatan data. Pada penelitian ini, sistem diuji menggunakan dua variasi nilai ambang metode *hysteresis control*, yaitu ON  $<45\%$  dan OFF  $\geq 75\%$  serta ON  $<35\%$  dan OFF  $\geq 70\%$ , untuk membandingkan pengaruh masing-masing konfigurasi terhadap kinerja sistem. Pada setiap variasi, relay akan aktif ketika nilai kelembapan tanah berada di bawah batas bawah (*ON threshold*) sehingga pompa DC mulai melakukan penyiraman, kemudian pompa akan tetap bekerja hingga kelembapan tanah mencapai batas atas (*OFF threshold*), setelah itu relay akan dinonaktifkan sehingga pompa berhenti bekerja. Selama nilai kelembapan berada di antara kedua batas tersebut, status pompa dipertahankan sesuai kondisi sebelumnya sehingga dapat mengurangi frekuensi ON-OFF akibat fluktuasi pembacaan sensor. Seluruh data hasil pembacaan sensor kemudian diproses oleh ESP32 dan ditampilkan pada LCD I2C secara *real-time*, meliputi nilai kelembapan tanah,

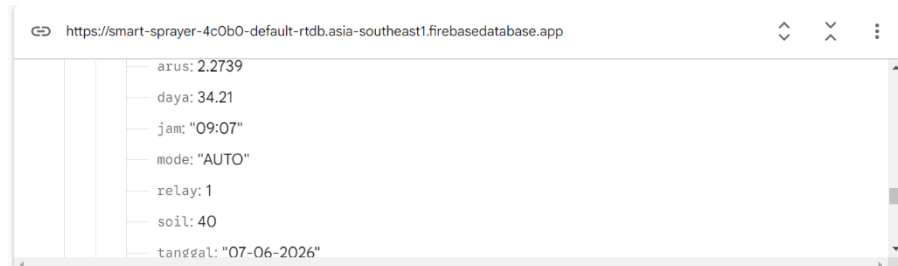
tegangan, arus, dan daya listrik. Data tersebut juga dikirim melalui jaringan WiFi ke aplikasi Blynk untuk pemantauan jarak jauh serta ke Firebase sebagai basis data *cloud* untuk penyimpanan data secara daring. Data yang tersimpan pada Firebase selanjutnya diintegrasikan dengan Google *Spreadsheet* untuk keperluan pencatatan, analisis, dan dokumentasi hasil monitoring sistem. Melalui sistem ini, pengguna dapat memantau kondisi kelembapan tanah dan konsumsi energi secara *real-time*, sekaligus memperoleh data hasil pengujian untuk membandingkan durasi penyiraman, frekuensi kerja pompa, konsumsi air, konsumsi energi, dan tingkat kestabilan kelembapan tanah pada kedua variasi nilai ambang *hysteresis control*, sehingga dapat ditentukan konfigurasi yang memberikan kinerja paling efektif pada sistem irigasi otomatis berbasis energi surya.

```
done.ino
3  #define BLYNK_AUTH_TOKEN "19bNZUakq1zUIysZE2SjtKf-769jg_wv"
4
5  // ===== LIBRARY =====
6  #include <WiFi.h>
7  #include <WiFiClient.h>
8  #include <BlynkSimpleEsp32.h>
9
10 #include <Wire.h>
11 #include <Adafruit_INA219.h>
12 #include <RTClib.h>
13 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
14
15 // ===== WIFI =====
16 char ssid[] = "grisella";
17 char pass[] = "12345678";
18
19 // ===== PIN =====
20 #define SOIL_PIN 34
21 #define RELAY_PIN 26
```

Gambar 6. Program Monitoring IoT



Gambar 7. Tampilan Aplikasi Blynk



Gambar 8. Tampilan Datapada Firebase Realtime Database

|   | A          | B    | C       | D          | E        | F            | G        | H        | I    | J     |
|---|------------|------|---------|------------|----------|--------------|----------|----------|------|-------|
|   | Tanggal    | Jam  | Waktu   | Timestamp  | Soil (%) | Tegangan (V) | Arus (A) | Daya (W) | Mode | Relay |
| 1 | 04-06-2028 | 0:00 | 0:00:36 | 1780531238 | 66       | 12,88        | -8,300   | 0.086    | AUTO |       |
| 2 | 04-06-2028 | 0:01 | 0:01:37 | 1780531297 | 66       | 12,88        | -8,100   | 0.086    | AUTO |       |
| 3 | 04-06-2028 | 0:02 | 0:02:37 | 1780531367 | 66       | 12,88        | -8,300   | 0.082    | AUTO |       |
| 4 | 04-06-2028 | 0:03 | 0:03:38 | 1780531418 | 66       | 12,88        | -8,100   | 0.078    | AUTO |       |
| 5 | 04-06-2028 | 0:04 | 0:04:39 | 1780531479 | 66       | 12,88        | -8,200   | 0.086    | AUTO |       |
| 6 | 04-06-2028 | 0:05 | 0:05:39 | 1780531539 | 66       | 12,88        | -8,800   | 0.082    | AUTO |       |

Gambar 9. Tampilan Header dan Data Awal Googlesheet

### 3.3 Pengujian Sensor

#### 3.3.1 Pengujian Sensor Kelembapan Tanah

Tabel 1. Hasil Pengujian Kelembapan Tanah

| Parameter            | ON <45% dan OFF ≥75% | ON <35% dan OFF ≥70% |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| Kelembapan Minimum   | 12%                  | 27%                  |
| Kelembapan Maksimum  | 75%                  | 70%                  |
| Kelembapan Rata-rata | 57,64%               | 52,78%               |
| Daya Rata-rata       | 22,29 W              | 16,58 W              |

Berdasarkan Tabel 1, pengujian sensor kelembapan tanah menunjukkan bahwa variasi nilai ambang ON <45% dan OFF ≥75% menghasilkan rata-rata kelembapan tanah sebesar 57,64% dengan kelembapan maksimum 75%, sedangkan variasi ON <35% dan OFF ≥70% menghasilkan rata-rata kelembapan sebesar 52,78% dengan kelembapan maksimum 70%. Selain itu, daya rata-rata pada variasi ON <45% dan OFF ≥75% sebesar 22,29 W, lebih tinggi dibandingkan variasi ON <35% dan OFF ≥70% sebesar 16,58 W. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi ON <45% dan OFF ≥75% lebih efektif dalam mempertahankan kelembapan tanah, meskipun membutuhkan daya yang lebih besar.

### 3.3.2 Pengujian Sensor INA219

Tabel 2. Hasil Kalibrasi Sensor INA219

| No               | Multimeter |       |        | Sensor  |         |         | Error% |       |       |
|------------------|------------|-------|--------|---------|---------|---------|--------|-------|-------|
|                  | V          | I     | P      | V       | I       | P       | V      | I     | P     |
| 1                | 13,39V     | 1,03A | 13,80W | 13,468V | 1,0375A | 13,972W | 0,58%  | 0,73% | 1,25% |
| 2                | 14,27V     | 0,93A | 13,19W | 14,344V | 0,9339A | 13,390W | 0,52%  | 0,42% | 1,52% |
| 3                | 15,46V     | 1,77A | 27,42W | 15,540V | 1,7866A | 27,778W | 0,52%  | 0,94% | 1,31% |
| 4                | 14,60V     | 1,02A | 14,90W | 14,688V | 1,0291A | 15,116W | 0,60%  | 0,89% | 1,45% |
| <b>Rata Rata</b> | 14,43V     | 1,19A | 17,33W | 14,51V  | 1,20A   | 17,56W  | 0,56%  | 0,75% | 1,38% |

$$Presentase\ Error = \left( \frac{Nilai\ Multimeter - Nilai\ Sensor}{Nilai\ Multimeter} \right) \times 100\%$$

Berdasarkan Tabel 2, hasil pengujian sensor INA219 menunjukkan bahwa nilai pengukuran tegangan, arus, dan daya memiliki tingkat kesesuaian yang baik terhadap hasil pengukuran multimeter sebagai alat referensi. Nilai error pengukuran tegangan berada pada rentang 0,52% hingga 0,60% dengan rata-rata sebesar 0,56%. Pengukuran arus memiliki nilai error antara 0,42% hingga 0,94% dengan rata-rata sebesar 0,75%, sedangkan pengukuran daya menunjukkan nilai error berkisar antara 1,25% hingga 1,52% dengan rata-rata sebesar 1,38%. Nilai error yang relatif kecil menunjukkan bahwa sensor INA219 mampu melakukan pengukuran parameter listrik dengan tingkat akurasi yang baik. Perbedaan hasil pengukuran yang terjadi dapat disebabkan oleh toleransi komponen sensor, fluktuasi beban pompa selama pengujian, serta keterbatasan ketelitian alat ukur yang digunakan sebagai pembandingan. Secara keseluruhan, sensor INA219 dapat bekerja dengan stabil dan menghasilkan data yang mendekati hasil pengukuran multimeter. Dengan demikian, sensor INA219 layak digunakan sebagai perangkat monitoring tegangan, arus, dan daya pada sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dikembangkan dalam penelitian ini.

### 3.3.3 Pengujian Panel Surya

Tabel 3. Hasil Pengujian Panel Surya

| <b>Parameter PV</b>    | <b>(ON &lt;45%, OFF ≥75%)</b> | <b>(ON &lt;35%, OFF ≥70%)</b> |
|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Tegangan Minimum (V)   | 13,11V                        | 13,14V                        |
| Tegangan Maksimum (V)  | 17,86V                        | 17,80V                        |
| Tegangan Rata-rata (V) | 15,56V                        | 15,42V                        |
| Arus Maksimum (A)      | 2,53A                         | 3,01A                         |
| Arus Rata-rata (A)     | 0,97A                         | 1,32A                         |
| Daya Maksimum (W)      | 44,39W                        | 51,49W                        |
| Daya Rata-rata (W)     | 16,58W                        | 22,29W                        |

Berdasarkan Tabel 3, hasil pengujian panel surya pada dua variasi nilai ambang metode *hysteresis control* menunjukkan bahwa tegangan keluaran panel surya relatif stabil. Pada variasi nilai ambang ON <45% dan OFF ≥75%, tegangan rata-rata yang diperoleh sebesar 15,56 V, sedangkan pada variasi nilai ambang ON <35% dan OFF ≥70% sebesar 15,42 V. Perbedaan tegangan rata-rata yang relatif kecil menunjukkan bahwa perubahan variasi nilai ambang *hysteresis control* tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tegangan keluaran panel surya. Namun, pada parameter arus dan daya terdapat perbedaan yang cukup terlihat. Variasi nilai ambang ON <45% dan OFF ≥75% menghasilkan arus rata-rata sebesar 0,97 A dan arus maksimum 2,53 A, sedangkan variasi nilai ambang ON <35% dan OFF ≥70% menghasilkan arus rata-rata sebesar 1,32 A dan arus maksimum 3,01 A. Perbedaan tersebut diikuti oleh nilai daya, di mana variasi ON <45% dan OFF ≥75% menghasilkan daya rata-rata sebesar 16,58 W dan daya maksimum 44,39 W, sedangkan variasi ON <35% dan OFF ≥70% menghasilkan daya rata-rata sebesar 22,29 W dan daya maksimum 51,49 W. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi nilai ambang ON <35% dan OFF ≥70% memerlukan suplai arus dan daya yang lebih besar dibandingkan variasi ON <45% dan OFF ≥75%. Secara keseluruhan, kedua variasi nilai ambang menghasilkan tegangan panel surya yang relatif stabil, sedangkan perbedaan arus dan daya menunjukkan adanya perbedaan kebutuhan energi sistem pada masing-masing konfigurasi *hysteresis control*. Meskipun demikian, panel surya tetap mampu menyediakan energi yang cukup untuk mendukung pengoperasian sistem irigasi otomatis pada kedua variasi pengujian.

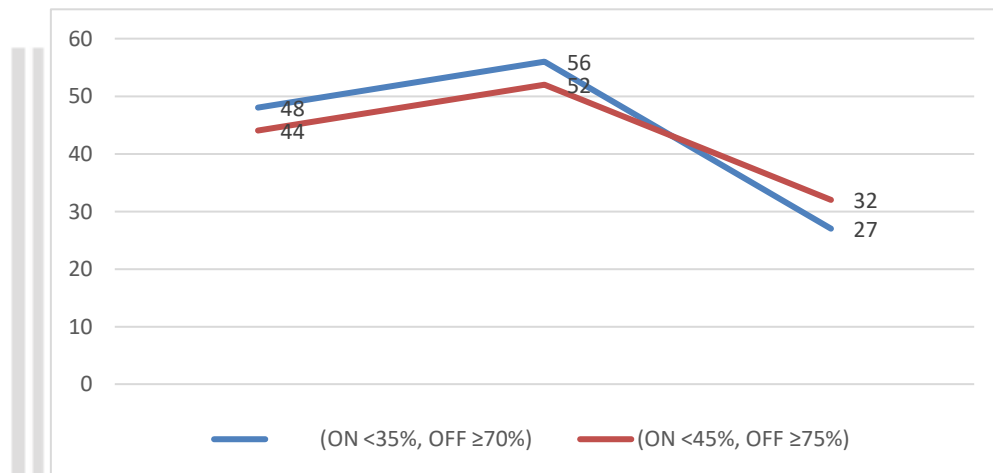


### 3.4 Perbandingan Kinerja Sistem dengan Variasi Nilai Ambang Metode Hysteresis

#### 3.4.1 Efisiensi Air

Tabel 4. Perbandingan Konsumsi Volume Air

| Parameter                  | (ON <45%, OFF ≥75%) | (ON <35%, OFF ≥70%) |
|----------------------------|---------------------|---------------------|
| Jumlah Relay ON            | 3 kali              | 3 kali              |
| Durasi Penyiraman          | 33 menit            | 37 menit            |
| Debit Pompa                | 4 L/menit           | 4 L/menit           |
| Volume Air Digunakan       | 132 L               | 148 L               |
| Rata-rata Kelembapan Tanah | 57,50%              | 52,80%              |
| Kelembapan Maksimum        | 75%                 | 70%                 |



Gambar 9. Grafik Perbandingan Efisiensi Air

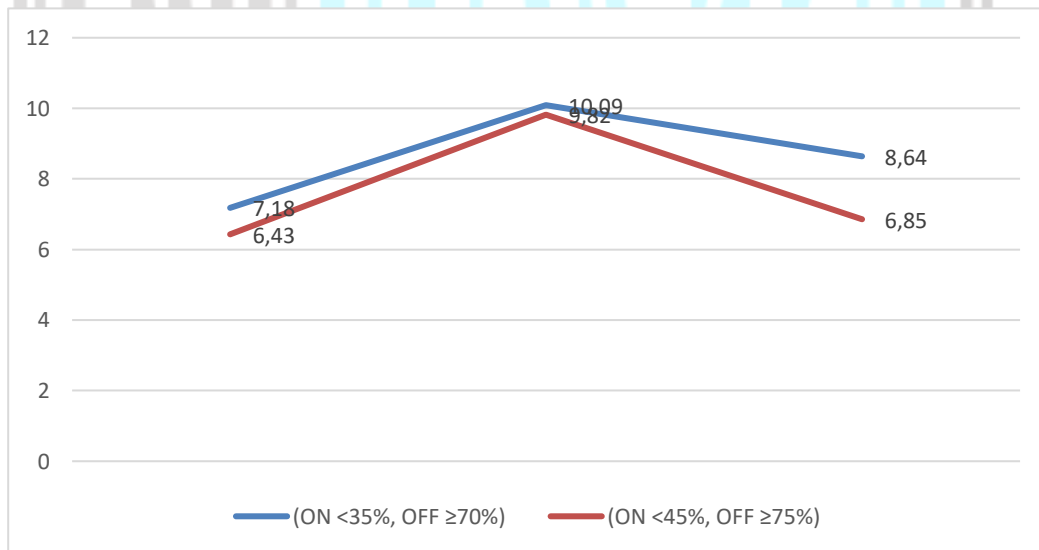
Berdasarkan Tabel 4, hasil perbandingan efisiensi air pada dua variasi nilai ambang metode *hysteresis control* menunjukkan adanya perbedaan dalam penggunaan air dan tingkat kelembapan tanah yang dihasilkan. Pada variasi nilai ambang ON <45% dan OFF ≥75%, pompa bekerja sebanyak 3 kali dengan total durasi penyiraman selama 33 menit sehingga volume air yang digunakan sebesar 132 L pada debit pompa 4 L/menit. Variasi ini menghasilkan rata-rata kelembapan tanah sebesar 57,50% dengan kelembapan maksimum mencapai 75%. Sementara itu, pada variasi nilai ambang ON <35% dan OFF ≥70%, pompa juga bekerja sebanyak 3 kali, namun durasi penyiraman menjadi 37 menit sehingga volume air yang digunakan meningkat

menjadi 148 L. Meskipun menggunakan air lebih banyak, rata-rata kelembapan tanah yang diperoleh hanya sebesar 52,80% dengan kelembapan maksimum 70%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi nilai ambang ON  $<45\%$  dan OFF  $\geq 75\%$  memiliki efisiensi penggunaan air yang lebih baik karena mampu menghasilkan kelembapan tanah yang lebih tinggi dengan konsumsi air yang lebih sedikit dibandingkan variasi nilai ambang ON  $<35\%$  dan OFF  $\geq 70\%$ . Dengan demikian, konfigurasi ON  $<45\%$  dan OFF  $\geq 75\%$  lebih efektif dalam mengoptimalkan penggunaan air sekaligus menjaga kelembapan tanah pada kondisi yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman.

### 3.4.2 Efisiensi Energi

Tabel 5. Perbandingan Konsumsi Energi

| Parameter                     | (ON $<45\%$ , OFF $\geq 75\%$ ) | (ON $<35\%$ , OFF $\geq 70\%$ ) |
|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Jumlah Relay ON (kejadian)    | 3                               | 3                               |
| Total Durasi Relay ON (menit) | 33 Menit                        | 37 Menit                        |
| Lama Operasi Pompa (jam)      | 0,550                           | 0,617                           |
| Daya Pompa (W)                | 42W                             | 42W                             |
| Energi Digunakan (Wh)         | 23,10Wh                         | 25,91Wh                         |



Gambar 10. Grafik Perbandingan Efisiensi Energi

Berdasarkan Tabel 5, perbandingan konsumsi energi pada dua variasi nilai ambang metode *hysteresis control* menunjukkan adanya perbedaan pada lama operasi pompa dan energi listrik yang digunakan. Pada variasi nilai ambang ON  $<45\%$  dan OFF  $\geq 75\%$ , jumlah relay ON sebanyak 3 kali dengan total durasi operasi pompa selama 33 menit atau 0,550 jam. Dengan daya pompa

sebesar 42 W, energi listrik yang digunakan sebesar 23,10 Wh. Sementara itu, pada variasi nilai ambang ON  $<35\%$  dan OFF  $\geq 70\%$ , jumlah relay ON juga sebanyak 3 kali, namun lama operasi pompa meningkat menjadi 37 menit atau 0,617 jam sehingga konsumsi energi menjadi 25,91 Wh. Perbedaan konsumsi energi tersebut dipengaruhi oleh durasi kerja pompa yang lebih lama pada variasi ON  $<35\%$  dan OFF  $\geq 70\%$ . Meskipun kedua variasi mampu menjalankan sistem penyiraman otomatis dengan baik, variasi ON  $<45\%$  dan OFF  $\geq 75\%$  lebih efisien dalam penggunaan energi karena membutuhkan energi yang lebih rendah, yaitu 23,10 Wh, dibandingkan variasi ON  $<35\%$  dan OFF  $\geq 70\%$  sebesar 25,91 Wh, serta tetap mampu mempertahankan kelembapan tanah pada kondisi yang lebih optimal.

#### 4. PENUTUP

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) yang memanfaatkan energi surya sebagai sumber daya utama telah berhasil diimplementasikan dan mampu beroperasi sesuai dengan yang direncanakan. Sistem dapat melakukan penyiraman secara otomatis berdasarkan nilai kelembapan tanah, serta menampilkan dan mengirimkan data pemantauan secara *real-time* melalui LCD I2C, Blynk, dan Firebase sehingga memudahkan proses monitoring dan pengendalian sistem.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi nilai ambang metode *hysteresis control* memberikan pengaruh terhadap kelembapan tanah, penggunaan air, dan konsumsi energi. Variasi nilai ambang ON  $<45\%$  dan OFF  $\geq 75\%$  menghasilkan rata-rata kelembapan tanah sebesar 57,64% dengan penggunaan air sebesar 132 L dan konsumsi energi sebesar 23,10 Wh. Sementara itu, variasi nilai ambang ON  $<35\%$  dan OFF  $\geq 70\%$  menghasilkan rata-rata kelembapan tanah sebesar 52,78% dengan penggunaan air sebesar 148 L dan konsumsi energi sebesar 25,91 Wh. Berdasarkan hasil tersebut, variasi nilai ambang ON  $<45\%$  dan OFF  $\geq 75\%$  memberikan kinerja yang lebih efektif karena mampu mempertahankan kelembapan tanah yang lebih tinggi dengan penggunaan air dan energi yang lebih rendah.

Selain itu, energi yang dihasilkan panel surya mampu memenuhi kebutuhan operasional sistem selama pengujian, sehingga menunjukkan bahwa pemanfaatan energi terbarukan dapat diterapkan secara efektif pada sistem irigasi otomatis skala kecil. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan mampu mendukung pengelolaan irigasi yang lebih efisien, menjaga kelembapan

tanah pada kondisi yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman, serta menjadi salah satu alternatif penerapan pertanian cerdas berbasis energi surya.

## **PERSANTUNAN**

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian dan penyusunan naskah publikasi ini dapat diselesaikan dengan baik. Naskah ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik.

Penulis menyadari bahwa proses penyusunan penelitian ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua yang selalu memberikan doa, dukungan, serta motivasi selama proses penyelesaian studi.
2. Bapak Umar, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama penelitian berlangsung.
3. Seluruh dosen Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu dan pengalaman selama masa perkuliahan.
4. Teman-teman serta semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam penyelesaian penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa naskah ini masih memiliki keterbatasan, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk pengembangan penelitian selanjutnya. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat serta menjadi referensi dalam pengembangan sistem irigasi berbasis teknologi yang lebih efisien dan berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abduh, S. R., Lisapaly, L., & Pangaribuan, T. (2024). Disain Dan Implementasi Sensor Monitoring Jarak Jauh Berbasis Iot Terhadap Kinerja Panel Surya. *Journal Of Renewable Energy, Electrical Engineering, And Artificial Intelligence*, 1(1), 19–26.
- Akanbi, M. B., Adedotun, K. J., Banjoko, I. K., & Raji, A. K. (2025). *Optimizing Water Resource Management In Agriculture Using Ai-Powered Solar Irrigation Systems*. *Journal of Science Innovation and Technology R* 05(9), 51–66.
- Akbar Firmansyah, R., & Budiman, A. (2025). Monitoring Alat Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis Iot Dan Bertenaga Surya. Diss. Universitas Muhammadiyah Surakarta, 1–20.
- Candradewani, B. L., Indriyanto, S., & Permatasari, I. (2025). *Sistem Monitoring Kelembapan Media Tanam Aglaonema Sp Berbasis Internet Of Things ( Iot )*. *Jurnal SINTA Sistem Informasi dan Teknologi Komputasi* 2, 103–115.
- Gunawan, B., & Astutik, R. P. (2025). Implementation Of Solar Energy For An Iot-Based Agricultural Irrigation And Monitoring System. *Journal Of Engineering, Technology, And Applied Science (Jetas)*, 7(3), 188–203. <https://doi.org/10.36079/Lamintang.Jetas-0703.958>
- Hendra Setyawan, A., Tullah, R., & Sutarman. (2019). Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis berbasis Mikrokontroler Arduino Unopada Toko Tanaman Hias Yopi. *Jurnal Sisfotek Global*, 9(1), 2088–1762.
- Juhan, N., Ibrahim, A., Abdullah, H., Nasri, & Suherman. (2024). Rancang Bangun Smart Irigasi Berbasis Internet Of Things. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumwe*, 7(1), 17–23.
- Pradana, A. I., Permatasari, H., Informatika, T., Komputer, F. I., & Bangsa, U. D. (2025). Implementasi Sistem Irigasi Otomatis Berbasis Iot Untuk Pertanian Greenhouse *Implementation Of Iot-Based Automatic Irrigation System For Greenhouse Farming*. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia (JPTI)* 5(2), 435–446.
- Syafi'i, A., Kurniawan, A. H., & Rusda. (2024). Rancang Bangun Alat Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis Esp32 Di Desa Purwajaya. *Poligrid*, 05(02), 50–56. [https://eprints.utdi.ac.id/10258/0ahttps://eprints.utdi.ac.id/10258/3/\\_203310009\\_Bab\\_2.Pdf](https://eprints.utdi.ac.id/10258/0ahttps://eprints.utdi.ac.id/10258/3/_203310009_Bab_2.Pdf)
- Yudiana, T. T. Y., Patma, T. S., & Fauziyah, M. (2024). Implementasi Sensor Kelembapan Tanah Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis Mikrokontroler Dengan Iot. *Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri*, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.33795/Elkolind.V11i1.3025>