



Rancang Bangun Sistem Irigasi Otomatis Berbasis Energi Surya Menggunakan Arduino ESP32 untuk Pertanian

Ardita Febri Tiyariansyah¹, Rukslin^{2*}, Muhlasin³, Machrus Ali⁴

^a Universitas Darul Ulum, Jl. Gus Dur No.29A, Mojongapit, Jombang, Jawa Timur 61419

¹ arditiyariansyah8725@gmail.com; ² rukslin05@gmail.com*; ³ muhlasin@ft-undar.ac.id; ⁴ machrus7@gmail.com

* Corresponding Author

ARTICLE INFO

Article History

Submission : 10-04-2026

Revision : 20-04-2026

Accepted : 10-09-2026

Kata Kunci:

Arduino ESP32,
automatic irrigation,
soil moisture sensor,
solar energy

ABSTRAK

Keterbatasan ketersediaan air dan akses energi listrik masih menjadi kendala utama pada sektor pertanian, terutama di wilayah pedesaan. Penggunaan pompa berbahan bakar fosil dan listrik dari jaringan PLN meningkatkan biaya operasional serta menimbulkan dampak lingkungan. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem irigasi otomatis berbasis energi surya menggunakan mikrokontroler Arduino ESP32. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen melalui tahapan perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, serta pengujian kinerja sistem. Sistem yang dikembangkan terdiri atas panel surya, solar charge controller (SCC) tipe PWM, baterai, pompa air, sensor kelembapan tanah, sensor suhu dan kelembapan udara DHT22, serta modul relay. Pengujian dilakukan terhadap kinerja sensor, debit pompa, proses pengisian baterai, konsumsi daya, dan efisiensi penggunaan energi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mengendalikan pompa air secara otomatis berdasarkan kondisi kelembapan tanah serta parameter suhu dan kelembapan udara. Pompa air mampu menyalurkan 900 mL air dalam waktu 3 menit dengan debit sebesar 0,005 L/s. Energi masukan sistem sebesar 21,921 Wh dan energi keluaran sebesar 7,969 Wh, sehingga diperoleh efisiensi penggunaan energi sebesar 36,35%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem irigasi otomatis berbasis energi surya dapat beroperasi secara mandiri tanpa ketergantungan pada jaringan listrik PLN maupun bahan bakar fosil. Sistem ini berpotensi menjadi solusi irigasi yang ramah lingkungan dan ekonomis untuk pertanian skala kecil di daerah pedesaan.

This is an open access article under license [CC-BY-SA](#).



1. Pendahuluan

Keterbatasan ketersediaan air dan akses energi listrik masih menjadi permasalahan pada sektor pertanian, khususnya di daerah pedesaan. Penggunaan pompa berbahan bakar solar dan listrik PLN meningkatkan biaya operasional serta berdampak terhadap lingkungan [1]. Pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi alternatif sesuai untuk wilayah pertanian dengan intensitas radiasi matahari yang tinggi [2].

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sistem off-grid memungkinkan penyediaan energi listrik secara mandiri tanpa ketergantungan pada jaringan PLN. Agar mampu memenuhi kebutuhan beban, sistem PLTS harus dirancang dengan perhitungan kapasitas

panel surya dan baterai yang tepat [3]. Pemanfaatan PLTS untuk menggerakkan pompa air telah dikembangkan sebagai solusi irigasi yang lebih ramah lingkungan [4].

Penelitian sebelumnya mengembangkan sistem irigasi otomatis berbasis sensor kelembapan tanah untuk mengatur waktu penyiraman [5], serta sistem pompa air tenaga surya untuk mengurangi ketergantungan pada jaringan listrik [6]. Integrasi sensor suhu dan kelembapan udara digunakan sebagai parameter tambahan untuk menyesuaikan penyiraman dengan kondisi lingkungan [7].

Namun, sebagian penelitian masih menggunakan satu parameter pengendalian dan belum menganalisis kinerja sistem dari sisi debit air dan efisiensi energi [8]. Selain itu, penggunaan mikrokontroler generasi lama belum mengoptimalkan pengelolaan energi pada skala prototipe [9]. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan rancang bangun sistem irigasi otomatis berbasis fotovoltaik dengan kontrol Arduino ESP32 dan multi-parameter sensor. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi sistem fotovoltaik dengan pengendalian pompa berbasis multi-sensor serta analisis efisiensi penggunaan energi pada skala prototipe

2. Tinjauan Pustaka

Energi Surya dan PLTS; Energi surya merupakan energi yang berasal dari radiasi matahari dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik melalui modul fotovoltaik [2]. PLTS dapat diterapkan dalam sistem on-grid maupun off-grid. Pada sistem off-grid, energi listrik disimpan dalam baterai sehingga dapat digunakan secara mandiri tanpa bergantung pada jaringan PLN [3]. Kinerja sistem PLTS dipengaruhi oleh kesesuaian antara kapasitas panel surya, kapasitas baterai, dan beban yang dilayani, karena daya yang dihasilkan panel surya tidak hanya bergantung pada nilai W_p , tetapi juga pada intensitas matahari serta efisiensi sistem [10]. Panel Surya dan Solar Charge Controller; Panel surya berfungsi mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik arus searah (DC) melalui efek fotovoltaik [11].

SCC (Solar Charge Controller; Solar Charge Controller (SCC) merupakan perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengatur proses pengisian baterai agar terhindar dari kondisi overcharge dan overdischarge sehingga sistem bekerja lebih andal [12]. Secara umum, Solar Charge Controller dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu PWM (Pulse Width Modulation) dan MPPT (Maximum Power Point Tracking). SCC MPPT mampu menyesuaikan tegangan dan arus keluaran panel sehingga energi yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara optimal. Energi berlebih dari panel akan dikonversi menjadi arus pengisian tambahan ke baterai, sehingga efisiensi sistem dapat meningkat hingga 20–30% dibandingkan SCC PWM, terutama pada kondisi intensitas cahaya matahari yang berubah-ubah [13].

Sistem Irigasi Otomatis; Sistem irigasi otomatis merupakan sistem penyiraman tanaman yang dikendalikan berdasarkan kondisi lingkungan. Penggunaan sensor kelembapan tanah memungkinkan sistem mengatur waktu penyiraman sesuai kebutuhan tanaman [5]. Pemanfaatan pompa air tenaga surya dalam sistem irigasi telah dikembangkan untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar solar dan listrik PLN [14]. Sistem ini dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air dibandingkan metode konvensional [8].

Mikrokontroler dan Sensor; Mikrokontroler berfungsi sebagai pusat kendali dalam sistem irigasi otomatis. Arduino ESP32 memiliki kemampuan pengolahan data sensor serta mendukung pengembangan sistem otomatisasi berbasis energi terbarukan [9]. Sensor kelembapan tanah digunakan sebagai parameter utama dalam pengendalian pompa air,

sedangkan sensor suhu dan kelembapan udara dimanfaatkan sebagai parameter tambahan untuk menyesuaikan kondisi lingkungan [7]. Integrasi mikrokontroler dan multi-sensor memungkinkan sistem irigasi bekerja secara adaptif dan efisien karena mampu menyesuaikan penyiraman berdasarkan kondisi lingkungan secara real-time.[15].

Baterai; Baterai merupakan komponen penyimpan energi listrik yang memiliki peran sangat penting dalam sistem tenaga surya, khususnya pada sistem off-grid yang tidak terhubung dengan jaringan listrik PLN. Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya pada siang hari disimpan di dalam baterai dan kemudian digunakan kembali pada saat intensitas sinar matahari menurun, pada malam hari, atau ketika kondisi cuaca tidak mendukung. Dengan adanya baterai, sistem tenaga surya dapat menyediakan suplai energi yang kontinu dan andal.

Modul Relay; Modul relay merupakan komponen elektromekanik yang digunakan sebagai penghubung antara rangkaian kontrol berdaya rendah, seperti mikrokontroler, dengan beban listrik berdaya lebih tinggi, seperti pompa air, motor listrik, atau perangkat aktuator lainnya. Dalam sistem otomatisasi, relay berfungsi sebagai saklar listrik yang dapat dikendalikan secara elektronik, sehingga memungkinkan mikrokontroler mengontrol perangkat yang bekerja pada tegangan dan arus yang lebih besar tanpa terhubung secara langsung.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan perancangan, implementasi, dan pengujian prototipe sistem irigasi otomatis berbasis energi surya. Tahapan penelitian meliputi perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, integrasi sistem, serta pengujian kinerja untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menjalankan fungsi irigasi otomatis secara mandiri.

3.1. Perancangan perangkat keras

Perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas panel surya, solar charge controller (SCC) tipe PWM, baterai, mikrokontroler Arduino ESP32, sensor kelembapan tanah, sensor suhu dan kelembapan udara DHT22, modul relay, dan pompa air DC. Panel surya berfungsi sebagai sumber energi utama yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik arus searah. Energi listrik dari panel surya diatur oleh SCC untuk proses pengisian baterai agar berlangsung aman dan stabil. Baterai digunakan sebagai penyimpan energi sekaligus sumber catu daya bagi mikrokontroler dan pompa air.

Sensor kelembapan tanah digunakan untuk mendeteksi kondisi kadar air pada media tanam, sedangkan sensor DHT22 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara di sekitar lingkungan tanam. Data dari kedua sensor diproses oleh Arduino ESP32 sebagai dasar pengambilan keputusan untuk mengaktifkan atau menonaktifkan pompa air melalui modul relay. Dengan konfigurasi ini, sistem dirancang agar mampu melakukan penyiraman secara otomatis sesuai dengan kondisi lingkungan yang terukur.

3.2. Perancangan perangkat lunak

Perangkat lunak dirancang menggunakan Arduino IDE dan diimplementasikan pada mikrokontroler Arduino ESP32. Program berfungsi untuk membaca data dari sensor kelembapan tanah dan sensor DHT22 secara berkala, menampilkan data hasil pembacaan pada LCD, serta menjalankan logika pengendalian pompa air.

Logika pengendalian sistem ditentukan berdasarkan nilai ambang (threshold) yang diperoleh dari hasil pengujian sensor. Pompa air diaktifkan apabila tanah terdeteksi kering, suhu udara berada di bawah batas yang ditentukan, dan kelembapan udara memenuhi kondisi yang diizinkan. Sebaliknya, pompa akan dinonaktifkan apabila kondisi tanah telah lembap atau kondisi lingkungan tidak memenuhi syarat penyiraman. Dengan mekanisme tersebut, sistem diharapkan mampu mengoptimalkan penggunaan air dan energi secara lebih efisien.

3.3. Prosedur pengujian

Pengujian sistem dilakukan secara bertahap untuk memastikan setiap komponen bekerja sesuai fungsinya. Tahapan pengujian meliputi:

- Pengujian sensor kelembapan tanah; Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respons sensor dalam mendeteksi kondisi tanah kering, lembap, dan basah. Data hasil pengukuran digunakan untuk menentukan nilai ambang yang menjadi dasar pengendalian pompa air.
- Pengujian sensor suhu dan kelembapan udara; Pengujian dilakukan dengan mengamati perubahan suhu dan kelembapan udara pada rentang waktu tertentu. Data hasil pengukuran digunakan sebagai parameter pendukung dalam menentukan kondisi penyiraman yang sesuai.
- Pengujian pompa air; Pengujian pompa bertujuan untuk mengetahui kemampuan pompa dalam menyalurkan air berdasarkan perintah dari mikrokontroler. Parameter yang diamati meliputi volume air yang dipompa dan waktu yang dibutuhkan, kemudian digunakan untuk menghitung debit air.
- Pengujian panel surya dan pengisian baterai; Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan panel surya dalam menghasilkan energi listrik selama periode penyinaran. Parameter yang diukur meliputi tegangan, arus, dan daya keluaran panel surya, serta perubahan tegangan baterai selama proses pengisian.
- Pengujian konsumsi daya dan efisiensi energi; Pengujian konsumsi daya dilakukan pada beban utama, yaitu Arduino ESP32 dan pompa air. Selanjutnya, efisiensi penggunaan energi dihitung dengan membandingkan energi masukan dari panel surya terhadap energi keluaran yang digunakan oleh sistem.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Perancangan Hardware

Perancangan perangkat keras (hardware) bertujuan untuk membangun sistem irigasi otomatis berbasis energi surya yang terintegrasi. Panel surya dihubungkan ke solar charge controller untuk mengatur proses pengisian baterai agar berlangsung aman dan stabil. Baterai kemudian menyuplai daya ke mikrokontroler dan pompa air. Sensor kelembapan tanah dan sensor suhu-kelembapan udara dihubungkan ke pin input Arduino ESP32 untuk membaca kondisi lingkungan. Modul relay digunakan sebagai penghubung antara mikrokontroler dengan pompa air.

4.2. Perancangan Software

Perancangan perangkat lunak (software) dilakukan dengan membuat program pada Arduino ESP32 menggunakan bahasa pemrograman berbasis Arduino IDE. Program

berfungsi untuk membaca data dari sensor kelembapan tanah serta sensor suhu dan kelembapan udara, kemudian mengolah data tersebut sebagai dasar pengambilan keputusan

dalam mengaktifkan atau menonaktifkan pompa air. Berikut program yang diupload di mikrokontroler ESP32 :

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Library untuk LCD I2C
#include <Wire.h> // Library komunikasi I2C
#include "DHT.h" // Library sensor DHT (suhu & kelembapan)
// ===== DEFINISI PIN =====
#define DHTPIN 4 // Pin data sensor DHT22 terhubung ke GPIO 4
#define DHTTYPE DHT22 // Tipe sensor DHT yang digunakan
#define RELAY_PIN 26 // Pin kontrol relay (pompa) ke GPIO 26
#define SOIL_MOISTURE_PIN 32 // Pin sensor kelembapan tanah ke GPIO 32 (ADC)

// ===== INISIALISASI OBJEK =====
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); // Membuat objek sensor DHT
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Alamat LCD I2C 0x27, ukuran 16x2
bool irrigationStatus = false; // Variabel status irigasi (cadangan/manual)
// ===== SETUP =====
void setup() {
  Serial.begin(115200); // Memulai komunikasi serial
  dht.begin(); // Inisialisasi sensor DHT
  lcd.init(); // Inisialisasi LCD
  lcd.backlight(); // Menyalakan backlight LCD
  lcd.clear(); // Membersihkan tampilan LCD
  pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT); // Mengatur pin relay sebagai output
  digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH); // Relay OFF di awal (aktif LOW)
  // Tampilan awal LCD
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Smart");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Irrigation");
  delay(2000);
  lcd.clear();
}
// ===== LOOP =====
void loop() {
  // Membaca sensor kelembapan tanah (nilai ADC)
  int Soil = analogRead(SOIL_MOISTURE_PIN);
  // Membaca suhu udara (°C)
  float T = dht.readTemperature();
  // Membaca kelembapan udara (%)
  float H = dht.readHumidity();
  // ===== MENAMPILKAN DATA SUHU & KELEMBAPAN =====
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("T : ");
  lcd.print(T);
  lcd.print(" C");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("H : ");
  lcd.print(H);
  lcd.print(" %");
  delay(2000);
  lcd.clear();
  // ===== MENAMPILKAN KELEMBAPAN TANAH =====
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Soil : ");
  lcd.print(Soil);
  delay(2000);
  lcd.clear();
  // ===== LOGIKA KONTROL POMPA =====
  // Pompa ON jika:
  // 1. Tanah kering (nilai ADC > 2910)
  // 2. Suhu udara < 33°C
  // 3. Kelembapan udara > 75%
```

```

// ATAU status irigasi aktif
if ((Soil > 2910 && T < 33 && H > 75) || irrigationStatus) {
  startIrrigation();    // Menyalakan pompa
} else {
  stopIrrigation();     // Mematikan pompa
}
delay(2000);
}
// ===== FUNGSI MENYALAKAN POMPA =====
void startIrrigation() {
  digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // Relay aktif (pompa ON)
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Pompa");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("ON ");
}
// ===== FUNGSI MEMATIKAN POMPA =====
void stopIrrigation() {
  digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH); // Relay nonaktif (pompa OFF)
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Pompa");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("OFF");
  delay(3000);
}

```

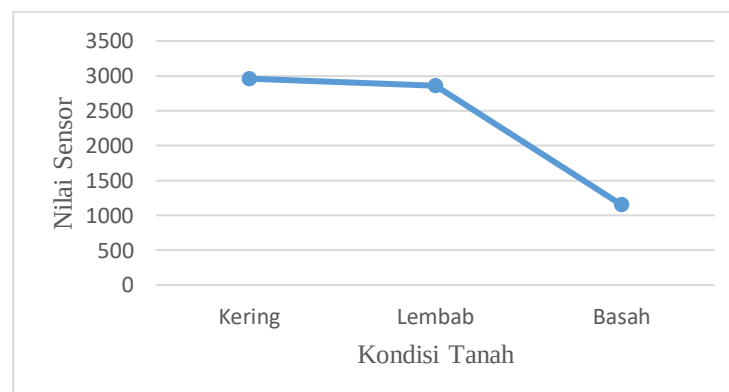
4.3. Hasil Pengujian Sensor Kelembapan Tanah

Pengujian sensor kelembapan tanah dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi kondisi kadar air pada media tanam. Hasil pengujian sensor kelembapan tanah disajikan dalam Tabel Hasil Pengujian Sensor Kelembapan Tanah.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor Kelembapan Tanah

No	Kondisi Tanah	Nilai Sensor
1.	Kering	2720 – 2980
2.	Lembab	1485 – 1525
3.	Basah	1015 – 1045

Divisualisasikan pada Grafik Hubungan Nilai Sensor Kelembapan Tanah terhadap Kondisi Tanah.



Grafik 1. Grafik Hubungan Kelembapan Tanah terhadap Kondisi Tanah

Dari hasil pengujian, diperoleh nilai ambang batas yang berada di antara kondisi tanah kering dan lembap, sehingga sistem dapat mengaktifkan pompa air saat tanah terdeteksi kering dan mematikannya ketika tanah telah mencapai kondisi lembap.

1. Nilai tanah kering rata-rata: 2850
2. Nilai tanah lembap rata-rata: 1505

Threshold dapat ditentukan :

$$\text{Threshold} = \frac{2850+1505}{2} = 2177$$

1. Jika nilai sensor > 2177 → tanah kering → pompa ON
2. Jika nilai sensor ≤ 2177 → tanah lembap/basah → pompa OFF

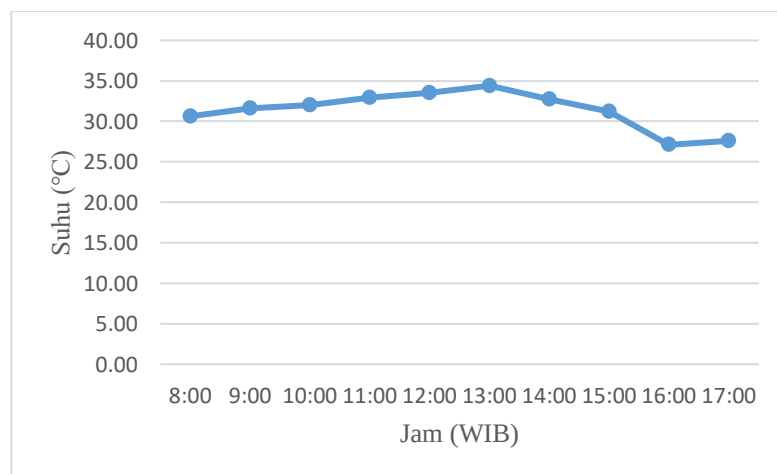
4.4. Hasil Pengujian Sensor Suhu dan Kelembapan Udara

Pengujian sensor suhu dan kelembapan udara bertujuan untuk mengetahui keakuratan sensor dalam membaca kondisi lingkungan sekitar tanaman. Data suhu dan kelembapan udara digunakan sebagai parameter pendukung dalam pengendalian sistem irigasi otomatis. Hasil pengujian sensor suhu dan kelembapan udara ditampilkan dalam Tabel Hasil Pengujian Sensor Suhu dan Kelembapan Udara.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Suhu dan Kelembapan Tanah

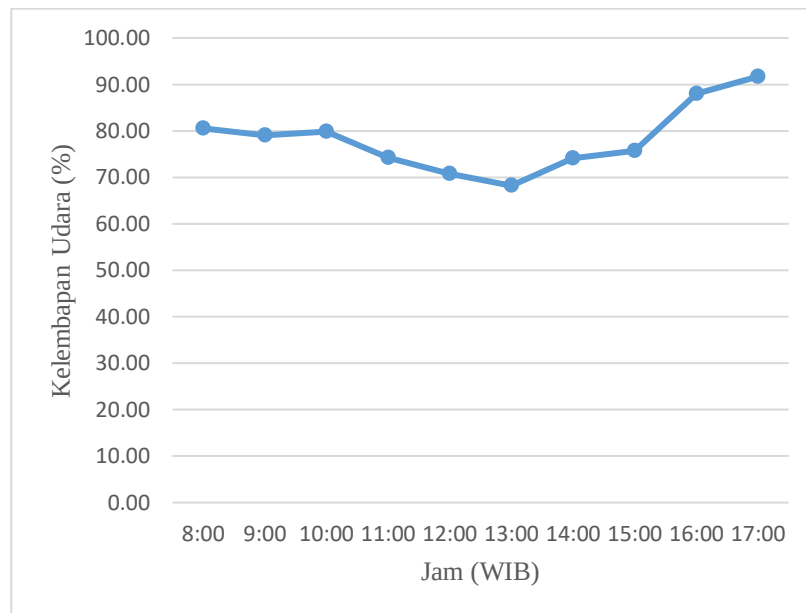
No	Jam (WIB)	Suhu (°C)	Kelembapan Udara (%)
1.	08.00	30,60	80,50
2.	09.00	31,60	79,10
3.	10.00	32,00	79,80
4.	11.00	32,90	74,20
5.	12.00	33,50	70,80
6.	13.00	34,40	68,20
7.	14.00	32,70	74,10
8.	15.00	31,20	75,70
9.	16.00	27,10	88,00
10.	17.00	27,60	91,70

Kondisi lingkungan berupa suhu diamati selama proses pengujian. Grafik perubahan suhu setiap jam ditampilkan pada grafik 2.



Grafik 2. Perubahan Suhu Setiap Jam

Kondisi lingkungan berupa kelembapan udara diamati perubahannya setiap 1 jam. Grafik perubahan kelembapan udara ditunjukkan pada grafik 3.



Grafik 3. Perubahan Kelembapan Udara Setiap Jam

Berdasarkan hasil pengukuran pada pukul 08.00–17.00 WIB, suhu udara meningkat hingga mencapai nilai tertinggi pada pukul 13.00 WIB sebesar 34,4 °C, sedangkan kelembapan udara menurun hingga 68,2%. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada suhu tinggi, potensi penguapan air semakin besar. Setelah pukul 14.00 WIB, suhu menurun dan kelembapan meningkat sehingga kondisi lebih sesuai untuk penyiraman.

Berdasarkan hubungan tersebut, ditetapkan threshold suhu sebesar 33 °C. Apabila suhu melebihi nilai tersebut, pompa air dinonaktifkan meskipun tanah terdeteksi kering. Sebaliknya, jika suhu berada di bawah 33 °C dan tanah kering, pompa diaktifkan.

4.5. Hasil Pengujian Pompa Air

Pengujian pompa air dilakukan untuk mengetahui kemampuan pompa dalam merespons perintah dari mikrokontroler berdasarkan kondisi sensor. Pengujian ini bertujuan memastikan bahwa pompa dapat menyala dan mati secara otomatis sesuai dengan ambang batas yang telah ditentukan.

Berdasarkan hasil pengujian, pompa air mampu memompa air sebanyak 900 mL dalam waktu 3 menit dan menghasilkan nilai kelembapan tanah sebesar 1071 pada media irigasi. Debit aliran pompa dihitung menggunakan persamaan:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{0,0009 \text{ m}^3}{180 \text{ s}} = 5 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} \text{ atau setara dengan } 0,005 \text{ L/s.}$$

Keterangan :

Q = debit air (m^3/s)

V = volume air (m^3)

t = waktu (s)

Nilai debit tersebut menunjukkan bahwa pompa air memiliki kapasitas yang cukup untuk mendukung kinerja sistem irigasi otomatis pada skala prototipe.

4.6. Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem Otomatisasi

Pengujian sistem irigasi otomatis dilakukan dengan menggunakan data sensor kelembapan tanah dan sensor suhu sebagai parameter pengendalian pompa air. Nilai batas (threshold) untuk kedua parameter telah ditentukan dalam program mikrokontroler, sehingga status pompa ditentukan berdasarkan perbandingan antara nilai sensor dan nilai batas tersebut.

Hasil pengujian disajikan pada Tabel 3 yang menunjukkan hubungan antara suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah, dan status pompa air.

Tabel 3. Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem Otomatisasi

No.	Suhu (°C)	Kelembapan Udara (%)	Kelembapan Tanah	Status Pompa
1.	29,40	86,80	2990	ON
2.	33,40	76,30	3040	OFF
3.	32,10	76,50	1061	OFF
4.	33,40	76,10	1962	OFF

Dari hasil tersebut terlihat bahwa pompa air akan aktif ketika kondisi sensor memenuhi kriteria yang telah ditetapkan, dan akan nonaktif apabila nilai sensor berada di luar batas yang ditentukan.

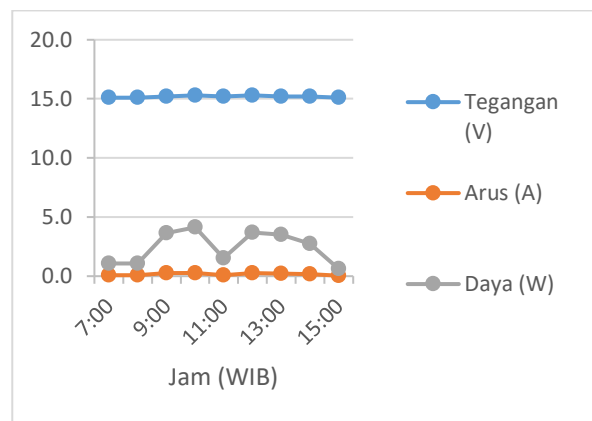
4.7. Hasil Pengujian Panel Surya saat Pengisian Baterai

Pengujian panel surya dilakukan untuk mengetahui kemampuan panel dalam menghasilkan energi listrik dan mengisi baterai melalui solar charge controller (SCC) tipe PWM. Parameter yang diukur meliputi tegangan dan arus keluaran panel pada jam efektif penyinaran matahari. Hasil pengukuran disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Panel Surya saat Pengisian Baterai

No	Jam (WIB)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1.	07.00	15,1	0,07	1,057
2.	08.00	15,1	0,07	1,057
3.	09.00	15,2	0,24	3,648
4.	10.00	15,3	0,27	4,131
5.	11.00	15,2	0,10	1,52
6.	12.00	15,3	0,24	3,672
7.	13.00	15,2	0,23	3,496
8.	14.00	15,2	0,18	2,736
9.	15.00	15,1	0,04	0,604

Sedangkan perubahan tegangan baterai selama proses pengisian ditunjukkan pada Grafik 4.



Gambar 4. Perubahan Tegangan Baterai Selama Pengisian

Berdasarkan hasil perhitungan, total energi yang dihasilkan selama 8 jam pengujian sebesar 21,921 Wh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa panel surya mampu menghasilkan energi listrik untuk mengisi baterai secara bertahap dan stabil sesuai dengan intensitas sinar matahari. Tegangan pengisian menurun saat kondisi mendung, namun secara umum proses pengisian berlangsung sesuai fungsi SCC PWM dalam mengatur arus dan tegangan.

4.8. Hasil Pengujian Konsumsi Daya Beban dan Efisiensi Penggunaan Energi

Perhitungan konsumsi daya dilakukan pada ESP32 dan pompa air. Pada ESP32 diperoleh tegangan 4,7 V dan arus 0,07 A sehingga daya sebesar 0,329 W. Pada pompa air diperoleh tegangan 14,6 V dan arus 0,10 A sehingga daya sebesar 1,46 W.

Efisiensi penggunaan energi dihitung berdasarkan perbandingan energi masukan dari panel surya dan energi keluaran yang digunakan oleh beban. Energi masukan selama pengujian sebesar 21,921 Wh. Energi keluaran terdiri dari energi ESP32 selama 24 jam sebesar 7,896 Wh dan energi pompa air selama 3 menit sebesar 0,073 Wh, sehingga total energi keluaran sebesar 7,969 Wh.

Efisiensi penggunaan energi diperoleh sebesar:

$$\eta = \frac{\text{Energi Keluaran}}{\text{Energi Masukan}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{7,969}{21,921} \times 100\%$$

$$\eta = 36,35\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai efisiensi penggunaan energi sebesar 36,35%. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem mampu memanfaatkan energi yang tersedia secara efisien untuk mendukung operasional irigasi otomatis. Dalam penelitian ini, semakin kecil nilai efisiensi penggunaan energi menunjukkan bahwa energi yang dibutuhkan untuk mengoperasikan sistem semakin sedikit dibandingkan dengan energi yang tersedia, sehingga penggunaan energi menjadi lebih hemat dan efisien.

5. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem irigasi otomatis berbasis energi surya menggunakan mikrokontroler Arduino ESP32. Sistem yang dikembangkan mampu mengintegrasikan panel surya, SCC tipe PWM, baterai, sensor

kelembapan tanah, sensor suhu dan kelembapan udara, modul relay, serta pompa air dalam satu kesatuan sistem kendali yang bekerja secara otomatis.

Berdasarkan hasil pengujian, sensor kelembapan tanah mampu membedakan kondisi tanah kering, lembap, dan basah, sehingga dapat digunakan sebagai parameter utama dalam pengendalian penyiraman. Sensor suhu dan kelembapan udara juga berfungsi sebagai parameter pendukung untuk menyesuaikan proses irigasi dengan kondisi lingkungan. Sistem kontrol yang diterapkan mampu mengaktifkan dan menonaktifkan pompa air sesuai dengan nilai ambang yang telah ditentukan.

Hasil pengujian pompa menunjukkan bahwa pompa mampu menyalurkan air sebanyak 900 mL dalam waktu 3 menit dengan debit sebesar 0,005 L/s. Pada sisi penyediaan energi, panel surya mampu menghasilkan energi masukan sebesar 21,921 Wh, sedangkan total energi keluaran yang digunakan sistem sebesar 7,969 Wh. Berdasarkan perbandingan tersebut, diperoleh efisiensi penggunaan energi sebesar 36,35%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi secara mandiri dengan memanfaatkan energi surya tanpa bergantung pada jaringan listrik PLN maupun bahan bakar fosil.

Secara umum, sistem irigasi otomatis berbasis energi surya yang dikembangkan memiliki potensi untuk diterapkan pada pertanian skala kecil, khususnya di wilayah pedesaan yang memiliki keterbatasan akses listrik. Untuk pengembangan selanjutnya, penelitian ini dapat ditingkatkan melalui penggunaan SCC tipe MPPT, optimasi kapasitas panel surya dan baterai, serta integrasi sistem pemantauan berbasis Internet of Things (IoT) agar kinerja sistem menjadi lebih optimal dan adaptif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementan, *Statistik Pertanian, Agricultural Statistics 2023*. 2023.
- [2] K. Energi, D. A. N. Sumber, D. Mineral, and L. Kinerja, "Kementerian Esdm 2017," 2019.
- [3] N. I. Sijabat and Y. R. Pasalli, "Perencanaan PLTS Off-Grid Gedung Kantor Kelurahan Amban Manokwari Papua Barat," *J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 19, no. 3, pp. 2549–3442, 2025.
- [4] B. Hari Purwoto, Jatmiko, M. Alimul F., and I. Fahmi Huda, "Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif," *J. Tek. Elektro*, vol. 18, no. 1, pp. 10–11, 2007.
- [5] A. Firmansyah, Periyadi, and M. I. Sari, "Implementasi Sistem Irigasi Pertanian untuk Suhu Kelembapan Tanah pada Padi Berbasis Arduino Uno," *e-Proceeding Appl. Sci.*, vol. 7, no. 6, pp. 2803–2818, 2021.
- [6] N. Fitri, A. Sa'ban Miru, and R. T. Mangesa, "Rancangan Pompa Air Dc Menggunakan Solar Cell Untuk Irigasi Lahan Pertanian Desa," *J. Media Elektr.*, vol. 20, no. 1, pp. 22–29, 2024, doi: 10.59562/metrik.v20i1.5480.
- [7] A. Bajiel Rifaat, F. Sephiani, and P. Studi Teknik Elektro, "Pengembangan Sistem Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis IoT Menggunakan Sensor Suhu, Kelembapan Udara dan Kelembapan Tanah," *VERTEX ELEKTRO J. Tek. Elektro UNISMUH*, vol. 16, no. 2, pp. 15–23, 2024.
- [8] wahyu Sriyanto and S. Setiawidayat, "JASEE Journal of Application and Science on Electrical Engineering," *JASEE J. Appl. Sci. Electr. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 27–37, 2022.
- [9] F. Sulistio, "Sistem Berbasis ESP32 untuk IoT Pertanian," Universitas Labuhanbatu, 2025.

- [10] K. Pembangkit, L. Tenaga, S. Terhadap, P. Beban, P. N. Medan, and P. Surya, "Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terhadap Pemakaian Beban," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 2, pp. 134–139, 2023, doi: 10.30596/rele.v5i2.13092.
- [11] A. Kadir, *Panduan Praktis Mikrokontroler Arduino*. Yogyakarta: Andi, 2018.
- [12] A. Adhiksana, M. Nadir, and Salasiah, "Prosiding 4," *Pengaruh Waktu Ekstraksi Pektin Dari Kulit Jeruk Siam Menggunakan Gelombang Mikro*, pp. 34–38, 2020.
- [13] I. E. Agency, "World Energy Outlook 2021," IEA Publications, 2021.
- [14] I. Febrian, K. B. Adam, and W. Priharti, "Pompa Air Photovoltaic Tanpa Baterai Water Pumping Photovoltaic Without Battery," *e-Proceeding Eng.*, vol. 8, no. 4, pp. 3823–3832, 2021.
- [15] A. B. Saputra, L. P. Y. Putra, and M. Saifullah, "Sistem Irigasi Otomatis Berbasis IoT Menggunakan Sensor Kelembapan Tanah untuk Budidaya Tomat," *Semin. Nas. Teknol. Inf. dan Bisnis*, p. 2, 2025.