

PERANCANGAN SISTEM IOT UNTUK PEMANTAUAN AEROPONIK BERBASIS PERTANIAN CERDAS

M. Rizki*¹, Mohamad Agus Fhaizal², Winardi Sani³, Cecep Deni Mulyadi⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sangga Buana,
Jl. PHH. Mustofa No. 68, Bandung 40124

Abstrak

Penggunaan teknologi aeroponik semakin populer karena efisiensinya dalam pemanfaatan lahan dan air, serta kemampuannya meningkatkan produktivitas tanaman. Namun, implementasinya masih terbatas pada skala industri, sementara di skala rumahan masih jarang diterapkan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring aeroponik berbasis smart farming yang dapat digunakan pada skala rumahan. Sistem ini memantau kondisi lingkungan seperti suhu, kelembaban, pH air, dan TDS larutan nutrisi secara real-time, sehingga mempermudah pengelolaan budidaya tanaman. Perangkat keras yang digunakan melibatkan mikrokontroler ESP32-DevKitC V4 yang terintegrasi dengan sensor pH, TDS, DHT11, dan ultrasonik, dengan data yang dikirimkan ke aplikasi Blynk untuk monitoring jarak jauh. Uji coba dilakukan pada budidaya selada bokor untuk mengevaluasi efektivitas sistem dalam menjaga kondisi optimal tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini efektif dalam memantau dan mengontrol variabel lingkungan pada aeroponik skala rumahan. Pengguna menerima notifikasi real-time dan dapat memantau kondisi melalui smartphone, memungkinkan penyesuaian cepat terhadap perubahan lingkungan. Sistem monitoring yang dikembangkan berhasil memenuhi kebutuhan monitoring secara efektif dan dapat diimplementasikan secara luas untuk budidaya tanaman di rumah, berkontribusi pada peningkatan produktivitas dan kualitas tanaman melalui teknologi smart farming.

Kata Kunci: Aeroponik, Smart Farming, Sistem Monitoring, IoT, Selada Bokor.

Abstract

[Design of IoT System for Aeroponic Monitoring Based on Smart Agriculture] The use of aeroponic technology is gaining popularity due to its efficiency in land and water utilization, as well as its ability to increase plant productivity. However, its implementation is still limited to the industrial scale, while at home scale it is still rarely applied. This research aims to design and implement a smart farming-based aeroponic monitoring system that can be used on a home scale. This system monitors environmental conditions such as temperature, humidity, water pH, and TDS of nutrient solution in real-time, making it easier to manage plant cultivation. The hardware used involves an ESP32-DevKitC V4 microcontroller integrated with pH, TDS, DHT11, and ultrasonic sensors, with data sent to the Blynk application for remote monitoring. Trials were conducted on bokor lettuce cultivation to evaluate the effectiveness of the system in maintaining optimal plant conditions. The results show that the system is effective in monitoring and controlling environmental variables in home-scale aeroponics. Users receive real-time notifications and can monitor conditions via smartphones, allowing for quick adjustments to environmental changes. The developed monitoring system successfully fulfills the monitoring needs effectively and can be widely implemented for home plant cultivation, contributing to the improvement of crop productivity and quality through smart farming technology.

Keywords: Aeroponics, Smart Farming, Monitoring System, IoT, Lettuce.

1. Pendahuluan

Pertanian modern menghadapi tantangan yang semakin kompleks, termasuk perubahan iklim, pertumbuhan populasi yang pesat, dan kebutuhan untuk meningkatkan efisiensi produksi pangan.

Dalam konteks ini, konsep pertanian pintar (*smart farming*) muncul sebagai solusi inovatif yang memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan pertanian (Alreshidi, 2019; Pang et al., 2023; Zhang et al., 2022). Pertanian pintar melibatkan penggunaan berbagai teknologi, termasuk Internet of Things (IoT), big data, dan kecerdasan buatan (AI), untuk mengoptimalkan proses pertanian dan mengurangi penggunaan sumber daya (Qazi et al., 2022). Salah satu

*Penulis Korespondensi
E-mail: muhammadrizkiaja0171@gmail.com

aplikasi dari pertanian pintar adalah sistem aeroponik, yang memungkinkan pertumbuhan tanaman tanpa tanah dengan memanfaatkan kabut nutrisi (Hugo et al., 2022; Rajendiran & Rethnaraj, 2023).

Kajian literatur menunjukkan bahwa sistem aeroponik telah mendapatkan perhatian yang signifikan dalam penelitian pertanian pintar. Beberapa studi menunjukkan bahwa aeroponik dapat meningkatkan pertumbuhan akar dan hasil tanaman dibandingkan dengan metode konvensional (Erel et al., 2020; Koukounaras, 2021). Selain itu, penggunaan sensor dan teknologi pemantauan dalam sistem aeroponik memungkinkan pengelolaan yang lebih baik terhadap parameter lingkungan, seperti pH dan tingkat nutrisi, yang sangat penting untuk pertumbuhan tanaman yang optimal (Fathy & Ali, 2023; Hugo et al., 2022). Penelitian sebelumnya juga mengindikasikan bahwa integrasi teknologi IoT dalam sistem aeroponik dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air dan nutrisi, serta memfasilitasi pemantauan yang lebih akurat terhadap kondisi tanaman (Farooq et al., 2019).

Pernyataan kebaruan ilmiah dari artikel ini terletak pada pengembangan dan implementasi sistem pemantauan aeroponik berbasis pertanian pintar yang dirancang khusus untuk skala rumah tangga. Meskipun banyak penelitian telah dilakukan pada sistem aeroponik dan pertanian pintar, masih terdapat kekurangan dalam penerapan teknologi ini pada skala kecil yang dapat diakses oleh masyarakat umum. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut dengan menciptakan sistem yang tidak hanya efisien tetapi juga mudah digunakan oleh petani rumahan.

Permasalahan penelitian ini berfokus pada bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan aeroponik yang efektif dan efisien untuk skala rumah tangga. Hipotesis yang diajukan adalah bahwa penerapan teknologi IoT dalam sistem aeroponik dapat meningkatkan hasil pertanian dan efisiensi penggunaan sumber daya, serta memberikan kemudahan bagi petani rumahan dalam mengelola tanaman mereka.

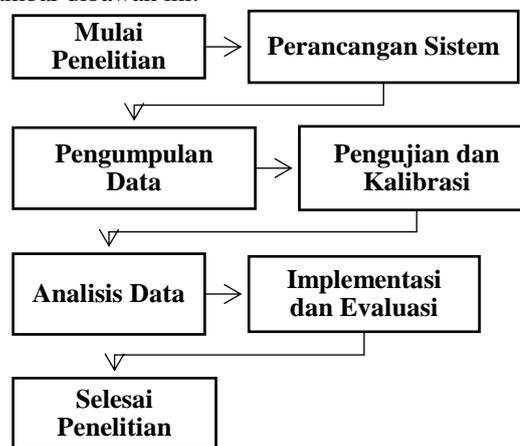
2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian eksperimental yang bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring aeroponik berbasis smart farming pada skala rumahan. Penelitian ini bersifat aplikatif, dengan fokus pada pengembangan sistem yang dapat diterapkan secara nyata untuk memecahkan masalah dalam memantau kondisi lingkungan pada sistem aeroponik.

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif dan teknik eksperimen. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengukur dan menganalisis data dari berbagai sensor yang digunakan

dalam sistem, seperti pH air, tingkat TDS, suhu, kelembaban, dan level air didalam tangki tanaman. Eksperimen dilakukan dengan menguji sistem yang telah dirancang dalam lingkungan aeroponik skala rumahan untuk mengamati kinerja dan keandalannya.

Proses pemecahan masalah bisa dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 1. Diagram Alir

2.1. Perancangan Sistem

Proses dimulai dengan merancang sistem monitoring yang mencakup pemilihan sensor yang tepat, desain rangkaian elektronik, dan pemrograman mikrokontroler ESP32. Setiap sensor dipilih berdasarkan parameter spesifik yang perlu dimonitor dalam sistem aeroponik, seperti sensor pH, TDS, DHT11, dan ultrasonik.

2.1.1. Sensor yang Digunakan

1. Sensor pH

Pada sistem aeroponik, larutan nutrisi yang diberikan kepada tanaman harus berada dalam rentang pH yang optimal agar tanaman dapat menyerap nutrisi secara maksimal. Nilai pH yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menghambat penyerapan nutrisi, yang berakibat pada pertumbuhan tanaman yang tidak optimal. Untuk tanaman selada, rentang pH optimal biasanya berkisar antara 5.5 hingga 6.5.



Gambar 2. Sensor pH (Kularbphettong et al., 2019)

2. Sensor TDS

Sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) berfungsi untuk mengukur konsentrasi

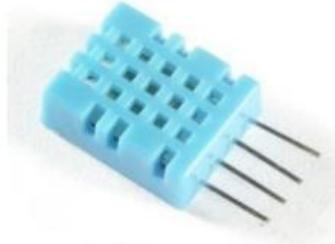
partikel padat yang terlarut dalam air, seperti mineral, garam, dan nutrisi.



Gambar 3. Sensor TDS (Lestari & Zafia, 2022)

3. Sensor DHT11

Sensor DHT11 memiliki peran penting dalam memantau suhu dan kelembaban udara di sekitar sistem aeroponik. Dalam metode aeroponik, kondisi lingkungan yang ideal sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman, terutama dalam hal suhu dan kelembaban yang harus dijaga pada tingkat optimal untuk memastikan tanaman dapat tumbuh dengan baik.



Gambar 4. Sensor DHT11 (Utama et al., 2017)

4. Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik memiliki peran penting dalam mengukur ketinggian air atau larutan nutrisi di dalam tangki sistem aeroponik.

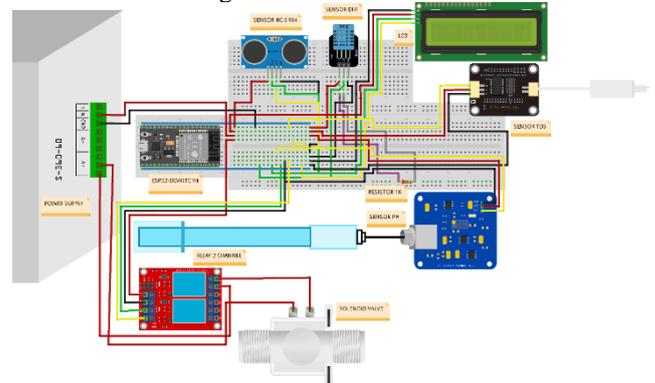


Gambar 5. Sensor Ultrasonik (Kularbphetong et al., 2019)

2.1.2. Desain Rangkaian Elektronik

Desain rangkaian elektronik dalam proyek Sistem Monitoring Aeroponik Berbasis Smart Farming terdiri dari beberapa komponen utama yang bekerja sama untuk memonitor dan mengendalikan parameter pertumbuhan tanaman, seperti pH air, suhu,

kelembaban, dan TDS (*Total Dissolved Solids*). Berikut adalah penjelasan tentang desain rangkaian elektronik:



Gambar 6. Desain Rangkaian Elektrik

Penjelasan:

Power Supply

1. Sambungkan pin VIN ESP32 ke power supply
2. Sambungkan pin GND ESP32 ke ground dari power supply

Koneksi Sensor DHT11 ke ESP32:

1. Pin VCC (DHT11) ke 3V3 (ESP32)
2. Pin GND (DHT11) ke GND (ESP32)
3. Pin DATA (DHT11) ke GPIO 4 (ESP32)
4. Tambahkan resistor 10K ohm antara pin DATA dan pin VCC (pull-up resistor)

Koneksi Sensor Ultrasonik (HC-SR04) ke ESP32:

1. Pin VCC (HC-SR04) ke 5V (ESP32)
2. Pin GND (HC-SR04) ke GND (ESP32)
3. Pin TRIG (HC-SR04) ke GPIO 5 (ESP32)
4. Pin ECHO (HC-SR04) ke GPIO 18 (ESP32)

Koneksi Sensor pH ke ESP32:

1. Pin VCC (pH) ke 3V3 (ESP32)
2. Pin GND (pH) ke GND (ESP32)
3. Pin OUTPUT (pH) ke GPIO 34 (ADC) (ESP32)

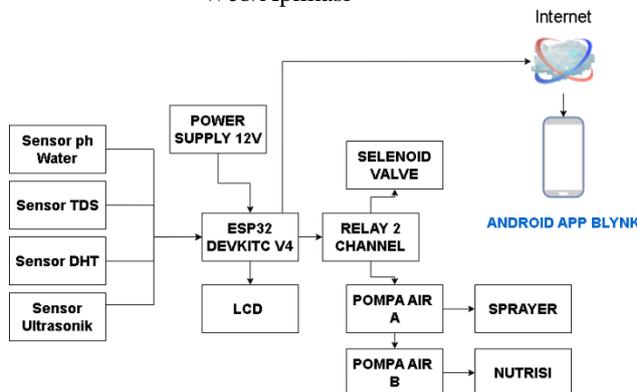
Koneksi Sensor TDS ke ESP32:

1. Pin VCC (TDS) ke 3V3 (ESP32)
2. Pin GND (TDS) ke GND (ESP32)
3. Pin OUTPUT (TDS) ke GPIO 35 (ADC) (ESP32)

Koneksi LCD Shiled ke ESP32:

1. Pin VCC (LCD Keypad Shield) ke 5V (ESP32)
2. Pin GND (LCD Keypad Shield) ke GND (ESP32)
3. Pin SDA (LCD Keypad Shield) ke GPIO 21 (SDA) (ESP32)

4. Pin SCL (LCD Keypad Shield) ke GPIO 22 (SCL) (ESP32)
- Relay 2 Channel:
1. Sambungkan pin VCC relay ke 5V
 2. Sambungkan pin GND relay ke ground
 3. Sambungkan pin IN1 dan IN2 relay ke pin digital ESP32, pin D19 dan D21
 4. Sambungkan salah satu terminal relay ke power supply 12V, dan terminal lainnya ke solenoid valve
- Solenoid Valve:
1. Sambungkan salah satu terminal solenoid valve ke relay
 2. Sambungkan terminal solenoid valve lainnya ke ground dari power supply 12V
- Input dan Output:
- Input
1. Sensor pH: Nilai pH → Tegangan Analog → Pin Analog ESP32
 2. Sensor TDS: Nilai TDS → Tegangan Analog → Pin Analog ESP32
 3. Sensor DHT: Suhu dan Kelembaban → Data Digital → Pin Digital ESP32
 4. Sensor Ultrasonik: Jarak → Data Digital → Pin Digital ESP32
- Output
1. LCD 16x2: Data dari Sensor (pH, TDS, Suhu, Kelembaban, Jarak) → Teks pada LCD
 2. Relay 2 Channel: Sinyal dari ESP32 → Kontrol Pompa Air dan Solenoid Valve
 3. Solenoid Valve: Status dari Relay → Aliran Air/Nutrisi
 4. Platform IoT: Data dari Sensor → Data Real-Time pada Antarmuka Web/Aplikasi



Gambar 7. Sistem Diagram Block

2.1.3. Pemrograman Mikrokontroler

Pemrograman mikrokontroler adalah proses menulis kode untuk mengontrol dan menjalankan fungsi-fungsi dari

mikrokontroler, yang merupakan perangkat kecil dengan unit pemrosesan terintegrasi (CPU), memori, dan input/output (I/O). Mikrokontroler sering digunakan dalam sistem embedded, seperti perangkat elektronik, otomasi industri, sistem sensor, hingga proyek-proyek IoT seperti yang kamu gunakan.

Tabel 1. Program

```
#define BLYNK_PRINT Serial
#define BLYNK_TEMPLATE_ID
"TMPL67pCdEyqH"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Kontrol
dan Monitoring Sistem Aeroponik"

#include <WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <DHT_U.h>

#define DHTPIN 4
#define DHTTYPE DHT11
#define TRIGPIN 5
#define ECHOPIN 18
#define PHPIN 34 // GPIO untuk sensor pH
#define TDSPIN 35 // GPIO untuk sensor TDS

char ssid[] = "HAHAHA";
char pass[] = "12309888";
char auth[] = "B8EsETOD4eOp-
0EvOY6az4WRmuo0smEb";

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);

unsigned long displayMillis = 0;
const long displayInterval = 10000;
bool displayState = false;

float pH_Value = 0.0;
float Voltage = 0.0;
float tdsValue = 0.0;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  WiFi.begin(ssid, pass);
  Blynk.begin(auth, ssid, pass);
  pinMode(TRIGPIN, OUTPUT);
  pinMode(ECHOPIN, INPUT);
  pinMode(PHPIN, INPUT);
  pinMode(TDSPIN, INPUT);
  dht.begin();
  lcd.init();
  lcd.backlight();
}
```

```

void loop() {
  Blynk.run();

  float distance = getDistance();

  float humidity = dht.readHumidity();
  float temperature = dht.readTemperature();
  if (isnan(humidity) || isnan(temperature)) {
    Serial.println(F("Failed to read from DHT
sensor!"));
    delay(1000);
    return;
  }
  // Read TDS
  float averageValue = 0;
  for (int i = 0; i < 10; i++)
  {
    int sensorValue = analogRead(TDSPIN);
    averageValue += sensorValue;
    delay(10);
  }
  averageValue /= 10;
  tdsValue = (averageValue * (3.3 / 4095.0)) *
1000;
  float PPM = tdsValue * 0.5; // Sesuaikan dengan
faktor kalibrasi
  Serial.print("TDS: ");
  Serial.println(PPM);

  // Read pH
  float pH_Value = 0;
  for(int test_cycle = 1 ; test_cycle <=10 ;
test_cycle++)
  {
    pH_Value += analogRead(PHPIN);
    delay (10);
  }
  float analog = (float)pH_Value / 10.0;
  Voltage = analog * (3.3 / 4095.0);
  float calibration_value = 3.0; // Sesuaikan dengan
nilai kalibrasi
  float pH = 7 - (2.5 - Voltage) * (3.5 / 0.18); //
Sesuaikan dengan nilai kalibrasi
  Serial.print("pH = ");
  Serial.println(pH);

  float levelPercentage = map(distance, 0, 20, 100,
0);

  unsigned long currentMillis = millis();
  if (currentMillis - displayMillis >=
displayInterval) {
    displayMillis = currentMillis;
    displayState = !displayState;
  }

  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Temp: ");
  lcd.print(temperature);

```

```

lcd.print(" C");

  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Hum: ");
  lcd.print(humidity);
  lcd.print(" %");

  lcd.setCursor(0, 2);
  lcd.print("pH: ");
  lcd.print(pH);

  lcd.setCursor(0, 3);
  lcd.print("TDS: ");
  lcd.print(PPM);
  lcd.print(" ppm");
  delay(2000);

  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Dist: ");
  lcd.print(distance);
  lcd.print(" cm");

  // Mengirim data ke Blynk
  Blynk.virtualWrite(V1, temperature);
  Blynk.virtualWrite(V2, humidity);
  Blynk.virtualWrite(V3, distance);
  Blynk.virtualWrite(V4, pH);
  Blynk.virtualWrite(V5, PPM);
}

float getDistance() {
  digitalWrite(TRIGPIN, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(TRIGPIN, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(TRIGPIN, LOW);

  float duration = pulseIn(ECHOPIN, HIGH);
  long distance = duration * 0.034 / 2;
  Serial.print("Dis : ");
  Serial.println(distance);
  return distance;
}

```

2.2. Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui sensor yang terhubung dengan mikrokontroler. Data ini dikirimkan secara nirkabel ke aplikasi Blynk untuk pemantauan real-time.

2.3. Pengujian dan Kalibrasi

Pengujian awal dilakukan untuk memastikan bahwa setiap sensor bekerja sesuai spesifikasinya. Kalibrasi dilakukan untuk meningkatkan akurasi pembacaan sensor, seperti kalibrasi sensor pH dan TDS. Sistem diuji dalam kondisi operasional yang disimulasikan untuk melihat bagaimana sistem merespons perubahan kondisi lingkungan.

| | | | | | | |
|--------------|----|------------------|---------------------|--------------------|----------|------------|
| 14:09:46.830 | -> | Humidity: 13.50% | Temperature: 2.40°C | Distance: 145.37cm | pH: 9.82 | TDS: 0.00 |
| 14:09:50.896 | -> | Humidity: 13.30% | Temperature: 2.40°C | Distance: 145.77cm | pH: 9.84 | TDS: 0.00 |
| 14:09:52.935 | -> | Humidity: 13.30% | Temperature: 2.40°C | Distance: 146.20cm | pH: 9.89 | TDS: 0.00 |
| 14:09:54.977 | -> | Humidity: 13.30% | Temperature: 2.40°C | Distance: 145.79cm | pH: 9.88 | TDS: 0.00 |
| 14:09:57.043 | -> | Humidity: 13.40% | Temperature: 2.40°C | Distance: 146.22cm | pH: 9.84 | TDS: 0.00 |
| 14:09:59.093 | -> | Humidity: 13.20% | Temperature: 2.40°C | Distance: 146.20cm | pH: 9.85 | TDS: 0.00 |
| 14:10:01.144 | -> | Humidity: 13.40% | Temperature: 2.40°C | Distance: 145.79cm | pH: 9.88 | TDS: 0.00 |
| 14:10:03.171 | -> | Humidity: 12.90% | Temperature: 2.50°C | Distance: 145.77cm | pH: 9.89 | TDS: 0.00 |
| 14:10:05.317 | -> | Humidity: 13.20% | Temperature: 2.50°C | Distance: 145.79cm | pH: 9.88 | TDS: 0.00 |
| 14:10:07.283 | -> | Humidity: 13.40% | Temperature: 2.40°C | Distance: 145.81cm | pH: 9.86 | TDS: 0.00 |
| 14:10:09.337 | -> | Humidity: 13.30% | Temperature: 2.50°C | Distance: 145.98cm | pH: 9.84 | TDS: 0.00 |
| 14:10:11.368 | -> | Humidity: 13.50% | Temperature: 2.40°C | Distance: 145.77cm | pH: 9.84 | TDS: 0.00 |
| 14:10:13.405 | -> | Humidity: 13.50% | Temperature: 2.40°C | Distance: 145.79cm | pH: 9.84 | TDS: 0.00 |
| 14:10:15.522 | -> | Humidity: 13.50% | Temperature: 2.50°C | Distance: 146.25cm | pH: 9.89 | TDS: 33.04 |
| 14:10:17.521 | -> | Humidity: 13.30% | Temperature: 2.40°C | Distance: 145.84cm | pH: 9.85 | TDS: 27.40 |
| 14:10:19.534 | -> | Humidity: 13.60% | Temperature: 2.50°C | Distance: 145.42cm | pH: 9.87 | TDS: 29.01 |
| 14:10:21.572 | -> | Humidity: 13.30% | Temperature: 2.40°C | Distance: 145.42cm | pH: 9.88 | TDS: 27.88 |
| 14:10:23.658 | -> | Humidity: 13.50% | Temperature: 2.40°C | Distance: 145.45cm | pH: 9.92 | TDS: 49.16 |
| 14:10:25.769 | -> | Humidity: 13.40% | Temperature: 2.50°C | Distance: 145.83cm | pH: 9.86 | TDS: 44.32 |
| 14:10:27.750 | -> | Humidity: 13.40% | Temperature: 2.40°C | Distance: 145.83cm | pH: 9.88 | TDS: 50.77 |
| 14:10:29.793 | -> | Humidity: 13.30% | Temperature: 2.40°C | Distance: 146.23cm | pH: 9.85 | TDS: 39.49 |
| 14:10:31.810 | -> | Humidity: 13.40% | Temperature: 2.40°C | Distance: 146.23cm | pH: 9.87 | TDS: 45.93 |
| 14:10:33.896 | -> | Humidity: 13.30% | Temperature: 2.40°C | Distance: 145.43cm | pH: 9.83 | TDS: 40.29 |
| 14:10:36.817 | -> | Humidity: 13.50% | Temperature: 2.40°C | Distance: 145.84cm | pH: 9.86 | TDS: 51.58 |
| 14:10:38.818 | -> | Humidity: 13.50% | Temperature: 2.50°C | Distance: 146.25cm | pH: 9.88 | TDS: 46.74 |
| 14:10:40.034 | -> | Humidity: 13.70% | Temperature: 2.40°C | Distance: 146.30cm | pH: 9.88 | TDS: 28.21 |
| 14:10:42.101 | -> | Humidity: 13.50% | Temperature: 2.50°C | Distance: 145.88cm | pH: 9.85 | TDS: 18.53 |

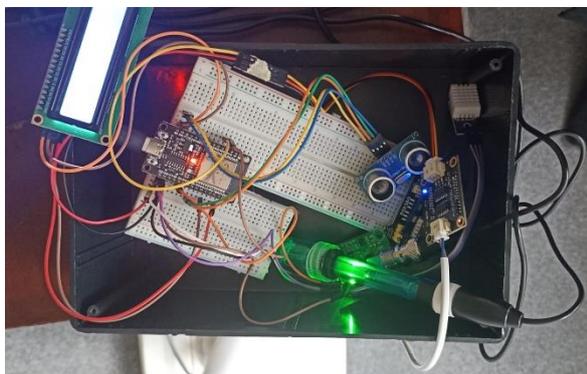
Gambar 8. Hasil Uji Sensor dan Kalibrasi Sensor

2.4. Analisis Data

Data yang diperoleh dari sensor dianalisis untuk mengevaluasi performa sistem. Analisis dilakukan untuk memeriksa konsistensi dan akurasi data yang dikumpulkan, serta untuk menilai keandalan sistem dalam memantau kondisi lingkungan.

2.5. Implementasi dan Evaluasi

Setelah tahap pengujian dan kalibrasi selesai, sistem diimplementasikan dalam skala rumahan untuk monitoring aeroponik. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil sistem monitoring otomatis ini dengan metode monitoring manual yang biasa digunakan dalam budidaya aeroponik.



Gambar 9. Pengimplementasian dan Evaluasi Alat

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini telah berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring aeroponik berbasis smart farming yang efisien, dirancang khusus untuk skala rumahan. Sistem ini mencakup sensor pH, sensor TDS, sensor DHT11 untuk memantau kelembaban dan suhu, serta sensor ultrasonik, semuanya terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 dan aplikasi Blynk untuk pemantauan real-time. Dari pengujian yang dilakukan, terdapat beberapa temuan penting:



Gambar 10. Hasil dan Implementasi Alat

3.1. Stabilitas Pembacaan pH dan TDS dalam Sistem Aeroponik

Salah satu temuan utama adalah konsistensi pembacaan pH dan TDS dalam sistem aeroponik. Pembacaan pH yang stabil di rentang 5.5-6.5 menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga tingkat keasaman yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman selada. Konsistensi ini penting karena pH yang tidak tepat dapat mempengaruhi penyerapan nutrisi oleh tanaman. Selain itu, pembacaan TDS yang stabil pada kisaran 800-1000 ppm menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan konsentrasi larutan nutrisi dalam batas optimal.

Stabilitas pH dan TDS dalam larutan nutrisi adalah faktor penting dalam sistem aeroponik, yang sangat dipengaruhi oleh keseimbangan ionik. Sensor pH dan TDS yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan akurasi tinggi dalam mendeteksi fluktuasi kecil konsentrasi ion H⁺ dan zat terlarut, yang sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa pengelolaan pH yang tepat dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman (Kudirka et al., 2023). Penelitian oleh Kudirka et al. (2023) menekankan pentingnya pemahaman tentang dampak perubahan pH minor terhadap sifat fisiologis tanaman, dan bagaimana buffer dapat digunakan untuk mengurangi fluktuasi pH. Selain itu, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini menunjukkan peningkatan kecepatan respon dan akurasi dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, seperti yang dilaporkan oleh Perteka et al. (2020) dan (Rivana, 2023), yang menunjukkan bahwa teknologi IoT dapat meningkatkan monitoring dan kontrol dalam sistem hidroponik. Dengan demikian, penggunaan sensor yang tepat dan teknologi monitoring berbasis IoT dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam pengelolaan larutan nutrisi dalam sistem aeroponik.

3.2. Respon Cepat Sensor DHT11 terhadap Perubahan Kelembaban dan Suhu

Temuan signifikan lainnya adalah respons cepat dari sensor DHT11 terhadap perubahan kelembaban dan suhu di sekitar tanaman. Sensor ini mampu mendeteksi perubahan kelembaban dengan akurasi $\pm 2\%$ RH dan suhu dengan akurasi $\pm 0.5^\circ\text{C}$. Ketika terjadi perubahan lingkungan, seperti penurunan suhu secara mendadak atau peningkatan kelembaban akibat sistem irigasi, sensor ini mampu memberikan data

secara real-time dengan tingkat keterlambatan yang minimal.

Karakteristik bahan semikonduktor dalam sensor DHT11 memungkinkan deteksi cepat terhadap perubahan parameter fisik seperti suhu dan kelembaban. Sensor ini dirancang untuk memberikan respon yang cepat, sehingga sangat cocok digunakan dalam lingkungan yang mengalami fluktuasi cepat, seperti dalam sistem aeroponik (Kumar, 2024). Penelitian oleh Jumingin et al. (2022) menunjukkan bahwa DHT11 efektif dalam aplikasi yang memerlukan pemantauan real-time, mendukung temuan bahwa sensor ini dapat meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan lingkungan pertanian (Jumingin et al., 2022). Optimasi pada mikrokontroler ESP32 juga berkontribusi pada peningkatan pemrosesan data, memungkinkan sistem untuk merespons perubahan dengan lebih cepat dan akurat (Iriani, 2024). Dengan kombinasi ini, sistem dapat mengelola parameter lingkungan secara otomatis, yang sangat penting dalam aplikasi pertanian modern (Chandranata, 2024). Oleh karena itu, penggunaan sensor DHT11 dalam sistem berbasis ESP32 memberikan solusi yang efisien untuk pengelolaan lingkungan pertanian yang dinamis.

3.3. Pengaruh Jarak Air Nutrisi pada Efisiensi Penguapan

Sensor ultrasonik yang digunakan untuk mengukur jarak air nutrisi dalam sistem aeroponik menunjukkan bahwa peningkatan jarak air berkorelasi dengan peningkatan penguapan air, yang dapat mempengaruhi tingkat kelembaban di sekitar tanaman. Pengukuran ini penting untuk menjaga keseimbangan antara pasokan air dan penguapan, yang berpengaruh pada pertumbuhan tanaman.

Peningkatan jarak air dalam sistem pertanian hidroponik dan aeroponik dapat meningkatkan luas permukaan yang terkena proses penguapan, yang sangat penting terutama pada suhu tinggi. Hal ini sejalan dengan temuan Zheng et al. (2022) yang menekankan pentingnya mencapai luas permukaan yang lebih besar untuk meningkatkan efisiensi penguapan (Zheng et al., 2022). Sistem yang dirancang mampu memantau jarak air secara efektif dan memberikan peringatan ketika level air menurun di bawah ambang batas yang ditentukan, sehingga memastikan pasokan air tetap optimal. Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan luas permukaan air dapat meningkatkan laju penguapan, yang berkontribusi pada efisiensi penggunaan air dalam skala rumah tangga (Han et al., 2020; , Yu et al., 2022). Selain itu, teknologi baru seperti penggunaan gel fototermal dan membran Janus dapat lebih meningkatkan laju penguapan dengan memanfaatkan interaksi antara air dan udara (Gao et al., 2020; , Lü et al., 2021). Dengan demikian, sistem ini tidak hanya menjamin keberlanjutan pasokan air, tetapi juga meningkatkan efisiensi penguapan yang diperlukan dalam pertanian modern.

Tabel 2. Hasil Pembacaan Sensor dari Jam 20.30 Malam s/d 10.00 Pagi

| Waktu | Sensor pH | Sensor TDS | Sensor Temperature |
|-------|-----------|------------|--------------------|
| 20.30 | 9.57 | 419.17 ppm | 23.4 °C |
| 21.00 | 9.29 | 372.87 ppm | 23.39 °C |
| 22.00 | 9.01 | 372.08 ppm | 23 °C |
| 23.00 | 9.55 | 360.06 ppm | 23 °C |
| 00.00 | 9.65 | 344.41 ppm | 22.6 °C |
| 01.00 | 9.49 | 372.69 ppm | 22.6 °C |
| 02.00 | 9.47 | 297.22 ppm | 22.2 °C |
| 03.00 | 9.67 | 274.00 ppm | 21.8 °C |
| 04.00 | 9.75 | 265.99 ppm | 21.4 °C |
| 05.00 | 9.62 | 254.06 ppm | 21 °C |
| 06.00 | 9.66 | 256.61 ppm | 21.4 °C |
| 07.00 | 9.53 | 255.13 ppm | 21.4 °C |
| 08.00 | 9.57 | 245.72 ppm | 21.4 °C |
| 09.00 | 9.65 | 244.26 ppm | 22.6 °C |
| 10.00 | 9.68 | 238.97 ppm | 23.4 °C |

| Waktu | Sensor Humadity | Sensor Ultrasonik |
|-------|-----------------|-------------------|
| 20.30 | 82 % | 15 cm |
| 21.00 | 84.7 % | 15 cm |
| 22.00 | 81 % | 15 cm |
| 23.00 | 81.48 % | 15 cm |
| 00.00 | 81.35 % | 14 cm |
| 01.00 | 85 % | 14 cm |
| 02.00 | 86 % | 14 cm |
| 03.00 | 91.17 % | 13 cm |
| 04.00 | 90.04 % | 13 cm |
| 05.00 | 90.22 % | 13 cm |
| 06.00 | 90.39 % | 13 cm |
| 07.00 | 93 % | 13 cm |
| 08.00 | 91.87 % | 12 cm |
| 09.00 | 84.5 % | 12 cm |
| 10.00 | 79.13 % | 12 cm |

3.4. Implementasi dan Efektivitas Sistem Monitoring Berbasis IoT

Integrasi antara sensor, mikrokontroler ESP32, dan aplikasi Blynk menghasilkan sistem monitoring yang efektif, memungkinkan pemantauan kondisi tanaman secara real-time dari jarak jauh. Sistem ini terbukti mengurangi kebutuhan intervensi manual dan menyediakan data yang akurat dan mudah diakses kapan saja.

Kemampuan Internet of Things (IoT) dalam menghubungkan perangkat fisik melalui jaringan internet telah membawa dampak signifikan dalam efisiensi pertanian, terutama pada skala rumahan. Implementasi IoT memungkinkan pemantauan dan pengendalian yang lebih terpusat, yang pada gilirannya meningkatkan produktivitas melalui pengelolaan sumber daya yang lebih baik (Vitali et al., 2021; Quay et al., 2022). Penelitian menunjukkan bahwa aplikasi IoT dalam pertanian tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan air dan pupuk, tetapi juga mengurangi limbah dan meningkatkan hasil panen (Li, 2024; Hussein, 2024). Selain itu, teknologi ini memungkinkan pengumpulan data real-time yang

penting untuk pengambilan keputusan yang lebih baik dalam praktik pertanian (Sadiku et al., 2021; Kathole et al., 2022). Dengan demikian, IoT berperan penting dalam modernisasi praktik pertanian dan pengembangan sistem pertanian yang lebih berkelanjutan (Köksal & Tekinerdoğan, 2018; Maroli et al., 2021).

3.5. Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Sistem monitoring yang dikembangkan dalam penelitian ini menunjukkan peningkatan signifikan dalam stabilitas sensor, kecepatan respon, dan integrasi IoT dibandingkan dengan sistem sebelumnya. Penelitian oleh Perteka et al. (2020) menyoroti keterbatasan dalam kecepatan respon dan stabilitas sensor pada sistem aeroponik berbasis IoT yang mereka kembangkan, terutama pada skala kecil (Perteka et al., 2020). Dalam konteks ini, sistem yang diusulkan berhasil mengatasi masalah tersebut melalui optimalisasi perangkat keras dan perangkat lunak, yang juga didukung oleh penelitian lain yang menunjukkan bahwa penggunaan API seperti Tuya dapat meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam pengumpulan data sensor (Bakti et al., 2023). Selain itu, sistem monitoring yang dirancang mampu melakukan kontrol otomatis terhadap parameter lingkungan, seperti kelembaban dan nutrisi, yang merupakan aspek penting dalam budidaya tanaman aeroponik (Anggraini et al., 2023). Dengan demikian, inovasi ini tidak hanya meningkatkan performa sistem tetapi juga memberikan kontribusi terhadap efisiensi pertanian modern.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mencapai tujuan utamanya, yaitu merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring aeroponik berbasis smart farming untuk skala rumahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini efektif dalam memantau kondisi lingkungan yang kritis bagi pertumbuhan tanaman, seperti pH, suhu, kelembaban, dan konsentrasi nutrisi dalam air. Sistem yang dirancang mampu memberikan data secara real-time dan akurat, yang memungkinkan pengguna untuk mengambil tindakan cepat dan tepat dalam mengelola kondisi pertumbuhan tanaman.

Selain itu, integrasi teknologi IoT melalui aplikasi Blynk mempermudah pengguna dalam mengakses informasi, memberikan fleksibilitas dalam pengawasan dan pengelolaan sistem aeroponik dari jarak jauh. Temuan ini mendukung hipotesis bahwa penerapan teknologi smart farming pada skala rumahan dapat meningkatkan efisiensi dan kualitas pengelolaan pertanian, khususnya dalam sistem aeroponik.

Sebagai tindak lanjut dari penelitian ini, pengembangan lebih lanjut dapat difokuskan pada optimalisasi sistem, seperti penambahan fitur otomatisasi untuk kontrol nutrisi dan lingkungan secara langsung tanpa intervensi manual. Selain itu, penelitian lebih lanjut bisa dilakukan untuk menguji sistem ini pada berbagai jenis tanaman dan dalam kondisi

lingkungan yang berbeda, sehingga dapat diperoleh data yang lebih komprehensif mengenai performa sistem pada skala yang lebih luas.

Daftar Pustaka

- Alreshidi, E. (2019). Smart Sustainable Agriculture (SSA) Solution Underpinned By Internet Of Things (Iot) And Artificial Intelligence (AI). *International Journal Of Advanced Computer Science And Applications*, 10(5), 93–102. <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2019.0100513>
- Erel, R., Le, T. T., Eshel, A., Cohen, S., Offenbach, R., Strijker, T., & Shtein, I. (2020). Root Development Of Bell Pepper (*Capsicum Annuum* L.) As Affected By Water Salinity And Sink Strength. *Plants*, 9(1), 1–13. <https://doi.org/10.3390/Plants9010035>
- Farooq, M. S., Riaz, S., Abid, A., Abid, K., & Naeem, M. A. (2019). A Survey On The Role Of Iot In Agriculture For The Implementation Of Smart Farming. *IEEE Access*, 7, 156237–156271. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2949703>
- Fathy, C., & Ali, H. M. (2023). A Secure Iot-Based Irrigation System For Precision Agriculture Using The Expeditious Cipher. *Sensors*, 23(4), 1–16. <https://doi.org/10.3390/S23042091>
- Hugo, A. M., Padilla-Medina, J. A., Mart, C., Martinez-Nolasco, J. J., Barranco-Guti, A. I., Contreras-Medina, L. M., & Leon-Rodriguez, M. (2022). *Iot-Based Monitoring System Applied To Aeroponics Greenhouse*.
- Koukounaras, A. (2021). Advanced Greenhouse Horticulture: New Technologies And Cultivation Practices. *Horticulturae*, 7(1), 1–5. <https://doi.org/10.3390/Horticulturae7010001>
- Kularbphettong, K., Ampant, U., & Kongrojd, N. (2019). An Automated Hydroponics System Based On Mobile Application. *International Journal Of Information And Education Technology*, 9(8), 548–552. <https://doi.org/10.18178/Ijiet.2019.9.8.1264>
- Lestari, A., & Zafia, A. (2022). Penerapan Sistem Monitoring Kualitas Air Berbasis Internet Of Things. *LEDGER: Journal Informatic And Information Technology*, 1(1), 17–24. <https://doi.org/10.20895/Ledger.V1i1.776>
- Pang, Y., Marinello, F., Tang, P., Li, H., & Liang, Q. (2023). Bibliometric Analysis Of Trends In Smart Irrigation For Smart Agriculture. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 23, Pp. 1–23). <https://doi.org/10.3390/Su152316420>
- Qazi, S., Khawaja, B. A., & Farooq, Q. U. (2022). Iot-Equipped And AI-Enabled Next Generation Smart Agriculture: A Critical Review, Current Challenges And Future Trends. *IEEE Access*, 10, 21219–21235. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3152544>

- Rajendiran, G., & Rethnaraj, J. (2023). Smart Aeroponic Farming System: Using Iot With LCGM-Boost Regression Model For Monitoring And Predicting Lettuce Crop Yield. *International Journal Of Intelligent Engineering And Systems*, 16(5), 251–262. <https://doi.org/10.22266/ijies2023.1031.22>
- Utama, Y., Widiyanto, Y., Sardjono, T., & Kusuma, H. (2017). Perbandingan Kualitas Antar Sensor Kelembaban Udara Dengan Menggunakan Arduino UNO. *Prosiding SNST 2019*, 60–65.
- Zhang, F., Zhang, Y., Lu, W., Gao, Y., Gong, Y., & Cao, J. (2022). 6G-Enabled Smart Agriculture: A Review And Prospect. *Electronics (Switzerland)*, 11(18), 1–23. <https://doi.org/10.3390/Electronics11182845>