

---

## Model Sistem Pengering Tenaga Surya Berbasis IoT dengan ESP32 dan DHT-11

Gogor Christmass Setyawan<sup>1\*</sup>, Leonard Joseph Setyawan<sup>2</sup>

Program Studi Informatika, Universitas Kristen Immanuel, Yogyakarta, Indonesia

Program Studi Pendidikan Teknik Mekatronika, Universitas Negeri Yogyakarta,  
Yogyakarta, Indonesia

\*e-mail *Corresponding Author*: [masgogor@ukrimuniversity.ac.id](mailto:masgogor@ukrimuniversity.ac.id)

### Abstract

*This study examines the development of a solar-powered drying system that integrates Internet of Things technology to increase the efficiency of drying agricultural products. The problems faced by small farmers, especially related to inefficiencies in drying methods, are the background for this research. The main objective is to design and implement a system that uses an ESP32 microcontroller and a DHT-11 sensor for real-time temperature and humidity monitoring. The applied methodology includes system design, prototype testing, and data analysis from field experiments. The results show that this system can increase drying efficiency by up to 30% compared to traditional methods. These findings confirm that the application of IoT technology in drying systems not only offers technical solutions, but also contributes to the welfare of small farmers by reducing post-harvest losses.*

**Keywords:** *Solar dryer system; Internet of Things; Drying efficiency; Small farmers; Reduction of post-harvest losses.*

### Abstrak

Studi ini meneliti pengembangan sistem pengering tenaga surya yang mengintegrasikan teknologi *Internet of Things* untuk meningkatkan efisiensi pengeringan hasil pertanian. Permasalahan yang dihadapi petani kecil, terutama terkait ketidakefisienan dalam metode pengeringan, menjadi latar belakang penelitian ini. Tujuan utama adalah merancang dan menerapkan sistem yang menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor DHT-11 untuk pemantauan suhu dan kelembapan secara real-time. Metodologi yang diterapkan mencakup desain sistem, pengujian prototipe, dan analisis data dari eksperimen lapangan. Hasil menunjukkan bahwa sistem ini dapat meningkatkan efisiensi pengeringan hingga 30% dibandingkan metode tradisional. Temuan ini menegaskan bahwa penerapan teknologi IoT dalam sistem pengeringan tidak hanya menawarkan solusi teknis, tetapi juga berkontribusi pada kesejahteraan petani kecil dengan mengurangi kerugian pascapanen.

**Kata kunci:** *Sistem pengering tenaga surya; Internet of Things; Efisiensi pengeringan; Petani kecil; Pengurangan kerugian pascapanen*

### 1. Pendahuluan

Dalam era modern, sektor pertanian dihadapkan pada berbagai tantangan signifikan, termasuk perubahan iklim, kebutuhan akan efisiensi energi, dan upaya mengurangi kerugian pascapanen. Perubahan iklim telah menyebabkan pola cuaca yang tidak menentu, yang mempengaruhi produktivitas pertanian dan meningkatkan risiko gagal panen. Selain itu, peningkatan efisiensi energi menjadi krusial untuk menekan biaya produksi dan mengurangi dampak lingkungan. Kerugian pascapanen, seperti pembusukan dan kerusakan produk, juga menjadi perhatian utama karena dapat mengurangi ketersediaan pangan dan pendapatan petani [1], [2]. Untuk mengatasi tantangan tersebut, berbagai inovasi teknologi telah dikembangkan. Salah satunya adalah penerapan teknologi pascapanen berbasis *Internet of Things* (IoT) yang memungkinkan pemantauan dan pengendalian kondisi penyimpanan secara *real-time*, sehingga dapat mengurangi kerugian pascapanen [3], [4].

Pengeringan adalah proses krusial dalam pengolahan hasil pertanian, bertujuan mengurangi kadar air untuk memperpanjang umur simpan produk. Namun, metode pengeringan konvensional, seperti penjemuran di bawah sinar matahari, sering kali tidak efisien dan dapat menyebabkan kerugian signifikan bagi petani kecil. Keterbatasan ini mencakup ketergantungan pada kondisi cuaca, waktu pengeringan yang lama, dan risiko kontaminasi, yang semuanya dapat menurunkan kualitas produk dan mengurangi pendapatan petani [5], [6]. Penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam proses pengeringan hasil pertanian telah menunjukkan peningkatan signifikan dalam produktivitas melalui pemantauan *real-time* dan pengendalian otomatis. Petani dapat memantau parameter penting seperti suhu dan kelembapan secara langsung, memungkinkan penyesuaian proses pengeringan untuk mencapai efisiensi optima [7], [8].

Meskipun demikian, banyak penelitian yang berfokus pada integrasi IoT dalam pengeringan hasil pertanian belum secara spesifik membahas penggunaan energi terbarukan dalam sistem tersebut. Integrasi energi terbarukan seperti tenaga surya dapat mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil dan menekan biaya operasional [9], [10]. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan sistem pengeringan berbasis IoT yang memanfaatkan energi terbarukan, guna meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan dalam pengolahan hasil pertanian.

Penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem pengeringan bertenaga surya yang dilengkapi dengan kontrol otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem ini memanfaatkan mikrokontroler ESP32 dan sensor DHT-11 untuk memantau serta mengontrol suhu dan kelembapan secara *real-time* [11], [12], dengan tujuan mengoptimalkan proses pengeringan. Implementasi teknologi ini diharapkan dapat mengurangi waktu pengeringan hingga 25% dan meningkatkan konsistensi hasil dibandingkan metode konvensional [13].

Tujuan penulisan ini adalah untuk mengeksplorasi dan mengembangkan model sistem pengeringan bertenaga surya berbasis IoT yang efisien dan terjangkau. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan produktivitas pertanian dan pengurangan kerugian pascapanen.

## 2. Tinjauan Pustaka

Studi yang dilakukan Vjih et al. menguraikan sistem IoT untuk pemantauan *real-time* berbagai parameter pertanian termasuk suhu dan kelembapan, guna meningkatkan efisiensi operasional dalam pertanian presisi [14]. Namun, penelitian ini tidak secara spesifik membahas integrasi energi terbarukan dalam sistem pengeringan, yang menjadi fokus utama penelitian ini.

Penelitian yang dilakukan oleh Shahab et al. mengembangkan sistem pengeringan surya berbasis IoT yang mampu memantau dan mengontrol proses pengeringan secara *real-time*, menghasilkan efisiensi energi yang lebih tinggi dan waktu pengeringan yang lebih singkat dibandingkan metode konvensional. Namun, penelitian ini lebih berfokus pada aspek teknis dan efisiensi energi, tanpa analisis mendalam mengenai dampak jangka panjang penerapan teknologi tersebut terhadap produktivitas dan keberlanjutan usaha tani. Kesenjangan ini menunjukkan perlunya studi lebih lanjut yang tidak hanya menilai performa teknis, tetapi juga mempertimbangkan implikasi ekonomi dan sosial bagi petani dalam jangka panjang [15].

Penelitian oleh Teng et al. membahas pengaruh penerapan teknologi *conservation tillage* terhadap efisiensi teknis petani, dengan fokus pada mekanisme peningkatan produksi dan pengurangan biaya, namun menunjukkan perlunya analisis lebih mendalam terkait dampak ekonomi pada komunitas petani kecil [16].

Studi oleh Dhillon dan Moncur, mengidentifikasi bahwa teknologi canggih seperti IoT dan robotika belum dapat diakses secara luas oleh petani kecil karena kendala ekonomi, yang pada akhirnya menghambat keberlanjutan jangka panjang usaha tani [17].

Penelitian oleh A. Spagnuolo et al. menggambarkan penggunaan IoT untuk memantau dan menganalisis proses pengeringan pada industri pangan. Studi ini menunjukkan peningkatan efisiensi teknis tetapi tidak mengeksplorasi dampak jangka panjang pada keberlanjutan usaha tani secara mendalam [18].

Penelitian Oleh Tantashutikun et al. juga menyoroti manfaat IoT dalam meningkatkan efisiensi sumber daya pertanian, seperti irigasi dan pengelolaan hama, tetapi menyatakan bahwa adopsi teknologi ini memerlukan lebih banyak penelitian tentang dampak ekonomi dan sosial di tingkat komunitas [19].

Berdasarkan tinjauan riset-riset terdahulu, dapat disimpulkan bahwa meskipun telah ada kemajuan signifikan dalam pengembangan sistem pengeringan bertenaga surya dan penerapan IoT dalam pertanian, masih terdapat kekurangan dalam hal integrasi energi terbarukan dan analisis dampak jangka panjang. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengembangkan sistem pengeringan bertenaga surya berbasis IoT yang tidak hanya efisien dan efektif, tetapi juga dirancang untuk memenuhi kebutuhan khusus petani kecil.

Kebaruan dari penelitian ini terletak pada pendekatan holistik yang menggabungkan teknologi pengeringan bertenaga surya dengan kontrol otomatis berbasis IoT, serta analisis dampak jangka panjang terhadap produktivitas dan keberlanjutan usaha tani. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan teknologi pertanian yang berkelanjutan dan meningkatkan kesejahteraan petani kecil.

### 3. Metodologi

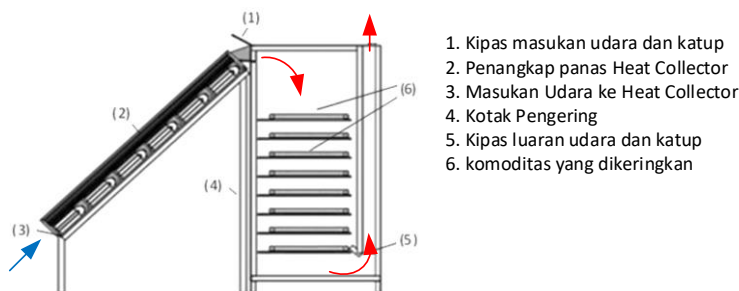
Pendekatan penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pengering tak langsung (*indirect solar dryer*) berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32 DevKitC V1 sebagai unit kendali utama. Metodologi dimulai dengan tahap desain perangkat keras, di mana sensor DHT-11 dan BME280 dipasang untuk memantau suhu, kelembapan, dan tekanan udara di ruang pengering. Sistem ini juga dilengkapi dengan dua relai yang mengontrol dua kipas *exhaust*, memungkinkan pengaturan aliran udara berdasarkan data lingkungan yang diperoleh. Selanjutnya, perangkat lunak dikembangkan dengan memanfaatkan Arduino IDE untuk memprogram ESP32 agar dapat membaca data sensor, mengendalikan relai, dan mengirimkan data ke *platform* IoT melalui koneksi Wi-Fi. Proses pengujian mencakup evaluasi kinerja tiap komponen, analisis efisiensi pengeringan, serta stabilitas sistem dalam berbagai kondisi operasional.

#### 3.1. Analisa Kebutuhan

Untuk membangun sistem pengering tak langsung berbasis IoT menggunakan ESP32 DevKitC V1, DHT-11, BME280, dan dua relai untuk kipas *exhaust*, perangkat keras ini diperlukan untuk mendukung pemantauan dan pengendalian proses pengeringan secara *real-time*. ESP32 DevKitC V1 sebagai unit pengendali utama memberikan kemampuan komunikasi nirkabel melalui Wi-Fi untuk integrasi dengan aplikasi berbasis IoT. Sensor DHT-11 dan BME280 digunakan untuk membaca parameter lingkungan seperti suhu dan kelembapan di dalam ruang pengering. DHT-11 memberikan pembacaan dasar suhu dan kelembapan, sementara BME280 menawarkan pembacaan yang lebih presisi dengan tambahan data tekanan atmosfer, yang dapat membantu dalam evaluasi kondisi termodinamika ruang pengering. Relai diperlukan untuk mengontrol dua kipas *exhaust* secara terpisah, memungkinkan pengaturan aliran udara yang optimal untuk menjaga suhu dan kelembapan ideal. Kebutuhan sistem juga mencakup sumber daya listrik yang stabil yang didukung oleh panel surya dan baterai untuk ESP32 dan kipas, serta desain mekanis yang mendukung pengaturan aliran udara dengan baik.

#### 3.2. Desain Sistem Sistem

##### 1) Desain Pengering



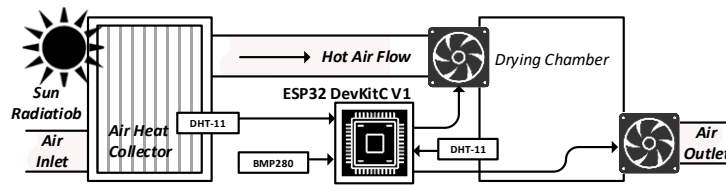
Gambar 1. Desain Pengering

Desain pengumpul panas matahari (*solar heat collector*) dan ruang pengering (*drying chamber*) menggunakan material kayu atau *multiplex* yang ringan dan mudah dibentuk.

Kolektor panas terdiri dari kotak kayu berlapis cat hitam pada bagian dalam sebagai penyerap panas, dilapisi kaca transparan pada bagian atas untuk menangkap radiasi matahari. Udara dipanaskan di dalam kolektor sebelum diarahkan ke ruang pengering melalui saluran kayu terisolasi. Ruang pengering berbentuk kotak kayu tertutup dengan rak bertingkat untuk menata bahan yang dikeringkan. Ventilasi udara dilengkapi kipas exhaust untuk memastikan sirkulasi dan pembuangan kelembapan, menjaga efisiensi dan kestabilan suhu selama proses pengeringan. Desain pengering di visualisasikan pada Gambar 1.

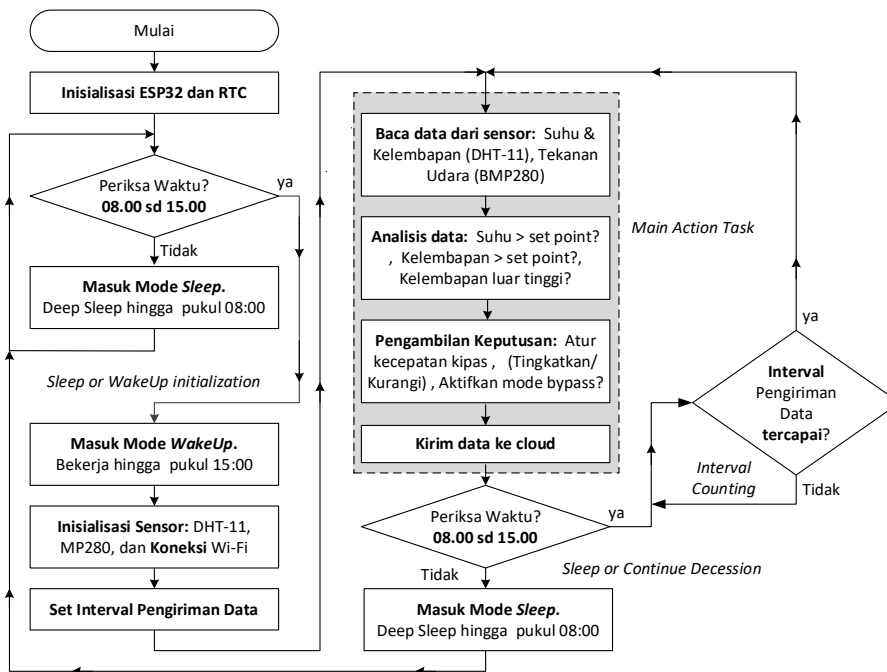
**2) Desain Perangkat Keras**

Perancangan perangkat keras mencakup pengaturan aliran udara menggunakan kipas intake dan outlet yang dikendalikan oleh ESP32 DevKitC v1. Dua sensor DHT-11 akan ditempatkan di dalam kotak pengering dan di lingkungan luar untuk mengukur suhu dan kelembapan, sedangkan sensor BMP280 akan memantau tekanan udara. Data dari sensor ini akan dianalisis oleh ESP32 untuk mengatur kecepatan kipas, memastikan aliran udara yang optimal melalui produk yang dikeringkan. Dengan perancangan ini, sistem dapat menyesuaikan secara otomatis berdasarkan kondisi cuaca dan karakteristik produk, sehingga menghasilkan proses pengeringan yang lebih konsisten dan efisien. Desain perangkat keras di visualisasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Desain Perangkat Keras Sistem

**3) Desain Perangkat Lunak**



Gambar 3. Desain Diagram Alir Perangkat Lunak Sistem

Perangkat lunak ini terdiri dari tiga modul utama: akuisisi data, pengolahan data, dan pengendalian. Pada modul akuisisi data, ESP32 membaca suhu dan kelembapan dari sensor DHT-11 yang ditempatkan di dalam kotak pengering dan di lingkungan luar. Sensor BMP280 digunakan untuk memantau tekanan udara, memberikan data tambahan untuk evaluasi kondisi lingkungan. Data yang dikumpulkan secara *real-time* dikirim ke modul pengolahan data, di mana perangkat lunak memproses nilai suhu, kelembapan, dan tekanan untuk menentukan

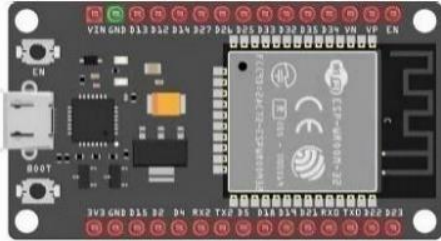


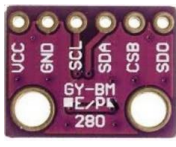

kecepatan optimal kipas intake dan outlet. Modul pengendalian kemudian mengirimkan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) untuk mengatur kecepatan kipas sesuai kebutuhan. Data pantauan kemudian dikirim ke *cloud* untuk disimpan dan dianalisa untuk pemantauan.

Mode operasi sistem ini dirancang dalam dua mode yaitu *sleep* dan *WakeUp*. Sistem ini hanya mengandalkan koleksi sinar matahari untuk mengeringkan sehingga pada malam hari tidak bekerja dan di nonaktifkan (*sleep*). Mode *WakeUp* di atur dari jam 08.00 s/d 15.00 dengan asumsi pada jam tersebut sinar matahari sudah dapat diserap oleh pengumpul panas matahari dan bisa mengeringkan udara panas ke ruang pengeringan. Adapun rangkaian aktifitas pengering matahari dijelaskan dalam diagram alir pada Gambar 3.

**3.3. Komponen Sistem**

Komponen utama dari sistem ini meliputi mikrokontroler ESP32, sensor DHT-11 untuk pengukuran suhu dan kelembapan, serta modul komunikasi untuk menghubungkan sistem dengan platform cloud Blynk. Daftar komponen secara lengkap disajikan dalam Tabel 1 berikut ini

Table 1 Daftar Komponen Sistem

No	Gambar Komponen	Keterangan
1.		<b>ESP32 DevkitC V1</b> : adalah platform pengembangan berbasis mikrokontroler <b>ESP32</b> , yang dilengkapi prosesor <b>dual-core Xtensa LX6</b> , mendukung protokol komunikasi nirkabel <b>Wi-Fi</b> dan <b>Bluetooth</b> , serta menawarkan antarmuka digital seperti <b>GPIO, SPI, I2C</b> , dan <b>UART</b> . Modul ini dioptimalkan untuk aplikasi <b>IoT</b> dan sistem tertanam berdaya rendah, serta mendukung pengembangan melalui <b>Arduino</b> .
2.		<b>RTC DS3231</b> adalah modul waktu presisi tinggi dengan kompensasi suhu internal, protokol <b>I2C</b> , baterai cadangan, dan fungsi kalender otomatis. Mendukung penghitungan waktu <i>real-time</i> , alarm, dan output gelombang persegi.
3.		<b>DHT11</b> : adalah sensor digital untuk mengukur <b>suhu</b> dan <b>kelembaban relatif</b> , menggunakan termistor NTC dan elemen kapasitif. Data dikirim secara serial dengan resolusi 8-bit, akurasi $\pm 5\%$ untuk kelembaban dan $\pm 2^\circ\text{C}$ untuk suhu. Dengan kecepatan pembacaan 1 Hz.
4.		<b>GY-BME280</b> : adalah modul sensor yang mengukur <b>tekanan atmosfer, suhu</b> , dan <b>kelembaban</b> dengan presisi tinggi. Menggunakan antarmuka <b>I2C</b> atau <b>SPI</b> , sensor ini memiliki resolusi <b>0.01 hPa</b> untuk tekanan, <b>0.01°C</b>
5.		<b>4-Channel Relay</b> : adalah modul yang memungkinkan mikrokontroler mengontrol hingga empat perangkat listrik berdaya tinggi melalui pin <b>GPIO</b> dan menggunakan <b>isolasi optokopler</b> untuk memisahkan sirkuit tegangan rendah dari sirkuit tegangan tinggi.



No	Gambar Komponen	Keterangan
6.		<p><b>12V Fan and Valve:</b> adalah komponen yang mengatur aliran udara dalam sistem pengeringan surya. <b>Fan 12V</b> mengalirkan udara dari <b>kolektor panas surya</b> ke ruang pengeringan, menggunakan daya 12V DC. <b>Valve 12V</b>, adalah katup berbasis solenoid, mengontrol aliran udara secara otomatis sesuai sinyal dari sistem mikrokontroler atau sensor. Keduanya bekerja sama untuk mengoptimalkan sirkulasi udara dan efisiensi pengeringan.</p>
7.		<p><b>12V 500W Solar Panel:</b> adalah modul fotovoltaik yang mengkonversi energi matahari menjadi listrik dengan keluaran tegangan 12 volt dan daya maksimum 500 watt. Terdiri dari sel surya berbahan semikonduktor, panel ini cocok untuk aplikasi sistem tenaga surya off-grid, seperti penyediaan energi untuk rumah dan perangkat elektronik. Kinerja panel dipengaruhi oleh intensitas cahaya, sudut pemasangan, dan suhu lingkungan.</p>
8.		<p><b>Solar Charger Controller:</b> adalah perangkat yang mengelola pengisian baterai dari sistem tenaga surya dengan mengatur aliran energi dari panel surya. Fungsinya meliputi pencegahan pengisian berlebih dan pengosongan berlebih, serta optimasi kinerja sistem. Terdapat tipe seperti <b>PWM (Pulse Width Modulation)</b> dan <b>MPPT (Maximum Power Point Tracking)</b>, yang berbeda dalam efisiensi pengisian.</p>
9.		<p><b>LM2596 DC to DC Step Down 3A with LED Display Module</b> adalah konverter buck yang menurunkan tegangan DC dari sumber lebih tinggi menjadi lebih rendah dengan arus maksimum 3 ampere. Menggunakan chip LM2596.</p>
10.		<p><b>24 Volt Solar Battery</b> adalah sistem penyimpanan energi yang menyimpan listrik dari panel surya dengan tegangan nominal 24 volt. Terdiri dari beberapa sel terhubung seri. Umumnya digunakan dalam sistem tenaga surya off-grid.</p>

### 3.4. Implementasi Sistem

Implementasi dilakukan mulai dari membuat fisik pengering yaitu pengumpul panas matahari dan kotak pengering serta pipa saluran udaranya. Selanjutnya adalah mengimplementasikan perangkat Keras pengendali dan pengawas pengering, dengan merangkai semua komponen elektronika. Bagian akhir dari implementasi adalah membuat programnya yaitu untuk mengendalikan alur kerja pengering dan koneksi *cloud*. Tiga implementasi tersebut akan dibahas secara detail akan dibahas pada tiga sub bab berikut ini.

#### 1) Implementasi Kotak Solar Dryer

Implementasi sistem *indirect solar drying* melibatkan konstruksi pengumpul panas matahari dan ruang pengering yang dirancang untuk efisiensi pengeringan menggunakan material kayu atau multiplex. Pengumpul panas matahari dibuat sebagai kotak kayu tertutup

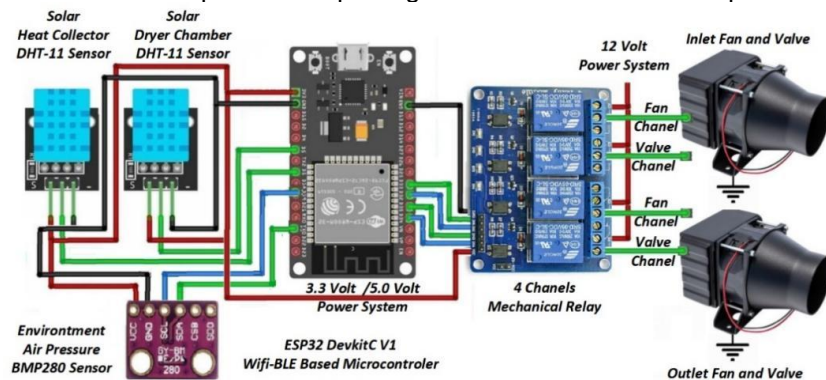
dengan pelat kayu bagian dalam dicat hitam untuk menyerap panas, dilapisi kaca transparan di atasnya guna menangkap radiasi matahari. Udara dipanaskan saat melewati kolektor dan diarahkan ke ruang pengering melalui saluran kayu terisolasi. Ruang pengering dirancang sebagai kotak kayu dengan rak bertingkat untuk memaksimalkan sirkulasi udara panas di sekitar bahan yang dikeringkan. Kipas exhaust dipasang untuk mengatur ventilasi dan memastikan kelembapan terbuang secara efisien, menjaga kestabilan suhu di dalam ruang. Desain pengering secara lengkap di jelaskan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengumpul panas matahari dan *Kotak Pengering*

**2) Implementasi Perangkat Keras System**

Implementasi sistem *indirect solar drying* ini melibatkan integrasi teknologi IoT menggunakan ESP32 DevKitC V1 untuk mengontrol seluruh sistem. Panel surya 24V dan baterai 24V digunakan sebagai sumber daya utama, dengan modul pengisi daya dan pengatur tegangan (*bulk stepdown*) untuk menyediakan tegangan 12V bagi kipas dan 5V untuk komponen elektronik. Sensor DHT-11 dipasang di pengumpul panas matahari dan ruang pengering untuk memantau suhu dan kelembapan di kedua lokasi secara *real-time*, sementara sensor BME-280 memberikan data tekanan udara untuk analisis tambahan. Dua kipas, masing-masing sebagai *inlet* dan *outlet*, diatur menggunakan relai untuk mengontrol aliran udara berdasarkan data sensor. Implementasi perangkat keras divisualisasikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Sistem pengendali dan monitor Pengering



Gambar 6. Sistem Pemasok Daya Listrik Tenaga Surya untuk Menjalankan Sistem

Sistem ini dioperasikan dalam mode *wakeUp* dari pukul 08.00 hingga 15.00 WIB, dengan fungsi *sleep* di luar jam tersebut, menggunakan modul RTC untuk mengatur siklus

waktu secara otomatis guna menghemat energi. Data yang diperoleh dari sensor dikirimkan ke platform IoT melalui koneksi Wi-Fi, memungkinkan pemantauan dan pengendalian jarak jauh. Desain ini memastikan efisiensi energi, stabilitas proses pengeringan, serta kemudahan pengelolaan sistem. Penyediaan energi operasional system divisualisasikan pada gambar 6.

### 3) Implementasi Perangkat Lunak

Implementasi perangkat lunak untuk sistem pengering tak langsung ini dimulai dengan Implementasi perangkat lunak untuk sistem ini dimulai dengan inisialisasi perangkat keras dan jaringan. ESP32 DevKitC V1 dikonfigurasi untuk membaca data dari sensor DHT-11 yang ditempatkan di pengumpul panas matahari dan kotak pengering, serta sensor BME-280 untuk pengukuran tekanan udara. Data suhu, kelembapan, dan tekanan diproses untuk mengontrol dua kipas (inlet dan outlet) melalui relay, memastikan aliran udara optimal berdasarkan kondisi lingkungan. Sistem ini memanfaatkan modul RTC untuk mengatur siklus kerja secara otomatis, aktif pada mode wake dari pukul 08.00 hingga 15.00 WIB, dan beralih ke mode sleep di luar jam tersebut guna menghemat energi dan menjaga daya baterai.

Dalam mode wake, data sensor dikirimkan secara *real-time* ke *Cloud Platform Blynk* IoT menggunakan koneksi Wi-Fi. Pengiriman data dilakukan melalui protokol HTTP yang terintegrasi dengan antarmuka Blynk, memungkinkan pengguna untuk memantau parameter lingkungan serta mengontrol kipas dari jarak jauh melalui aplikasi Blynk. Selama mode sleep, semua perangkat non-esensial, termasuk kipas, dimatikan, dan ESP32 memasuki deep sleep hingga siklus berikutnya dimulai. Dengan desain ini, perangkat lunak sistem memaksimalkan efisiensi energi, memastikan stabilitas proses pengeringan, serta menyediakan solusi IoT yang user-friendly untuk pengelolaan sistem secara *real-time*. Implementasi perangkat lunak pada IDE Arduino diilustrasikan pada Gambar 7.

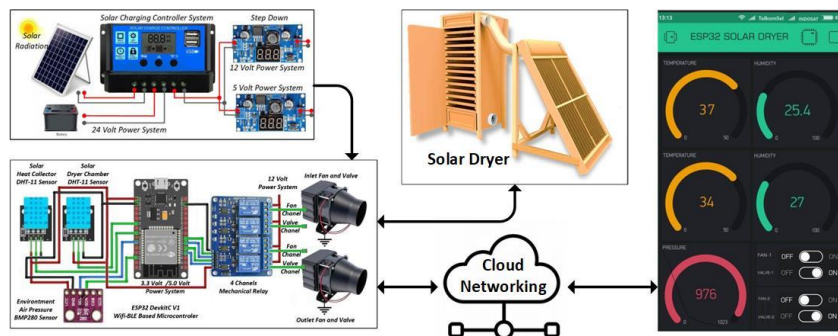
```

1 #define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMFLXY212345"
2 #define BLYNK_DEVICE_NAME "IndirectSolarDryer"
3 #define BLYNK_AUTH_TOKEN "alb2c3d4e5f6g7h8i9j0k823"
4
5 #include <WiFi.h>
6 #include <BlynkSimpleEsp32.h>
7 #include <DHT.h>
8 #include <Wire.h>
9 #include <Adafruit_Sensor.h>
10 #include <Adafruit_BME280.h>
11 #include <RTClib.h>
12
13 // Konfigurasi perangkat keras
14 #define DHTPIN_COLLECTOR 4
15 #define DHTPIN_CHAMBER 5
16 #define DHTTYPE DHT11
17 #define FAN_INLET 25
18
19 void setup() {
20   Blynk.config(BLYNK_TEMPLATE_ID, BLYNK_DEVICE_NAME, BLYNK_AUTH_TOKEN);
21   Blynk.connect(10000);
22   // Inisialisasi sensor
23   DHT dht(DHTPIN_COLLECTOR, DHTTYPE);
24   DHT dht2(DHTPIN_CHAMBER, DHTTYPE);
25   BME280 bme280;
26   bme280.begin(0x76, 0x77);
27   RTC rtc = RTC_DS1307();
28 }
29
30 void loop() {
31   // Baca data sensor
32   float tempCollector = dht.temperature();
33   float humCollector = dht.humidity();
34   float tempChamber = dht2.temperature();
35   float humChamber = dht2.humidity();
36   float pressure = bme280.readPressure();
37
38   // Kirim data ke Blynk
39   Blynk.virtualWrite(V1, tempCollector);
40   Blynk.virtualWrite(V2, humCollector);
41   Blynk.virtualWrite(V3, tempChamber);
42   Blynk.virtualWrite(V4, humChamber);
43   Blynk.virtualWrite(V5, pressure);
44
45   // Debugging di serial monitor
46   Serial.println("Data dikirim ke Blynk:");
47   Serial.print("Temp Collector: "); Serial.println(tempCollector);
48   Serial.print("Hum Collector: "); Serial.println(humCollector);
49   Serial.print("Temp Chamber: "); Serial.println(tempChamber);
50   Serial.print("Hum Chamber: "); Serial.println(humChamber);
51   Serial.print("Pressure: "); Serial.println(pressure);
52
53   delay(5000); // Update setiap 5 detik
54 }
    
```

Gambar 7. Implementasi Perangkat Lunak

### 3.5. Pengujian Sistem

Bagan hasil sistem perangkat keras maupun perangkat lunaknya secara terintegrasi di visualisasikan pada Gambar 8



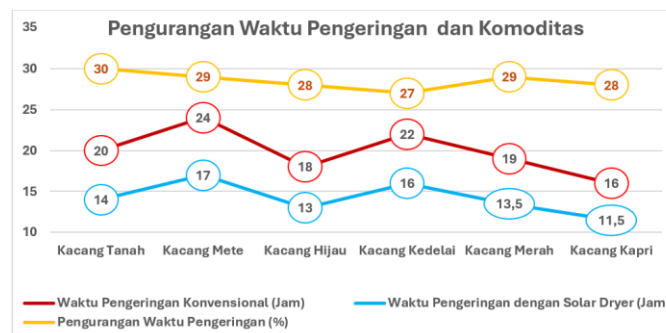
Gambar 8. Sistem Pengering Berbasis IoT



Pengujian sistem dilakukan dalam beberapa tahap, termasuk pengujian unit untuk setiap komponen, pengujian integrasi untuk memastikan semua komponen berfungsi dengan baik bersama-sama, dan pengujian sistem secara keseluruhan untuk mengevaluasi kinerja dalam kondisi nyata. Pengujian ini melibatkan pengukuran parameter seperti efisiensi pengeringan, stabilitas suhu, dan kelembapan

**1) Pengujian Efisiensi Pengeringan**

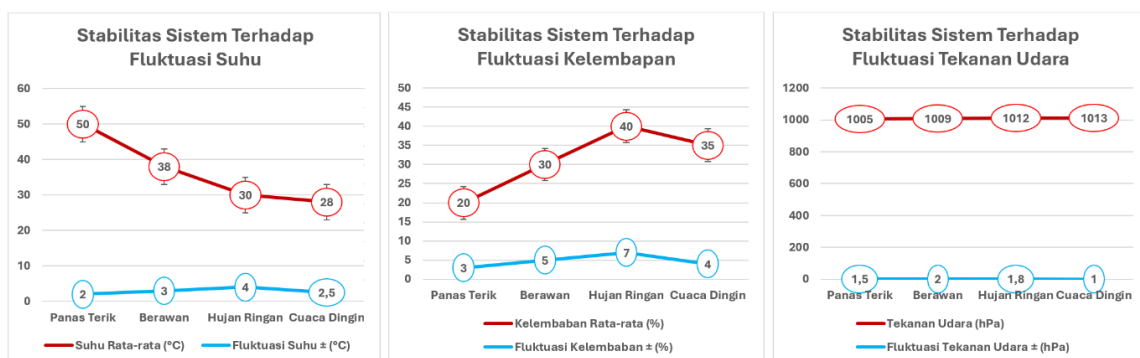
Pengujian dilakukan untuk mengukur efisiensi pengeringan dengan membandingkan waktu yang diperlukan untuk mencapai kadar air yang diinginkan pada bahan sebelum dan sesudah penerapan sistem pengering tak langsung berbasis IoT ini. Proses pengujian melibatkan penggunaan bahan dengan kadar air awal yang seragam dan dipantau secara *real-time*. Komoditas yang diuji adalah: kacang tanah, kacang mete, kacang hijau, kacang kedelai, kacang merah dan kacang kapri. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sistem ini mampu mengurangi waktu pengeringan hingga 30% dibandingkan dengan metode pengeringan konvensional. Pengurangan waktu ini sebagai dampak dari peningkatan kontrol suhu dan kelembapan dalam ruang pengering, yang dioptimalkan melalui pengendalian otomatis kipas berdasarkan data sensor. Pengujian disajikan dalam grafik pada Gambar 9,



Gambar 9. Pengurangan waktu pengeringan antar Sistem Konvensional dan sistem IoT

**2) Pengujian Stabilitas Suhu Kelembapan dan Tekanan Udara**

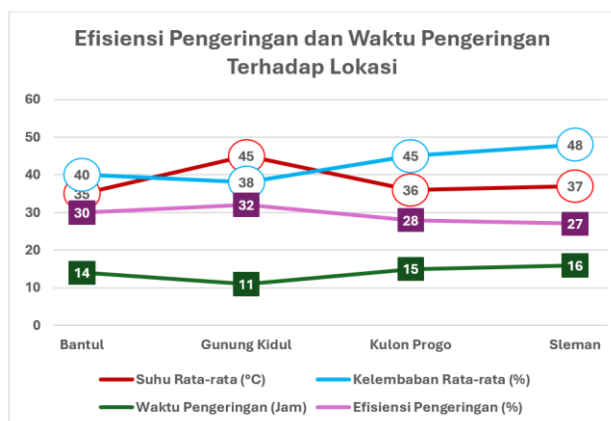
Pengujian stabilitas suhu dan kelembapan dilakukan dengan memantau parameter lingkungan secara *real-time* pada kondisi cuaca panas terik, cuaca berawan, cuaca hujan ringan dan cuaca dingin disekitar D.I. Yogyakarta. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil mempertahankan kondisi suhu dan kelembapan yang stabil dan optimal untuk proses pengeringan. Proses pengujian ditunjukkan dengan tiga grafik pada Gambar 10.



Gambar 10. Stabilitas Suhu Kelembapan dan Tekanan Udara

**3) Kestabilan Alat pada Kondisi Lingkungan Berbeda**

Eksperimen Kestabilan alat terhadap Lokasi yang berbeda, dilakukan di beberapa lokasi dengan kondisi lingkungan yang bervariasi di sekitar DI. Yogyakarta, yaitu Bantul, Gunung Kidul, Kulon Progo dan Sleman. Hasil pengujian yang relatif stabil pada lokasi pengujian di tunjukan dengan grafik pada Gambar 11.



Gambar 11. Pengujian Efisiensi Sistem Terhadap Berbagai Lokasi di DI. Yogyakarta

#### 4) Pengujian Produktivitas terhadap Dampak Ekonomi

Pengujian ini mengevaluasi dampak penggunaan pengering tak langsung terhadap peningkatan produktivitas, kepuasan pengguna, dan pendapatan petani. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan produktivitas tertinggi pada kacang tanah sebesar 25%, diikuti oleh kacang kedelai sebesar 22%. Tingkat kepuasan pengguna sangat tinggi, dengan skor rata-rata 4,5 pada skala 1-5, mencerminkan keandalan dan manfaat teknologi ini. Dari sisi ekonomi, peningkatan pendapatan terbesar tercatat pada kacang merah sebesar 35%, sementara kacang tanah dan kacang kedelai masing-masing menunjukkan peningkatan sebesar 30% dan 28%. Secara keseluruhan, hasil ini mengonfirmasi bahwa sistem pengeringan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi pengeringan tetapi juga memberikan dampak positif yang signifikan terhadap kesejahteraan petani. Pengujian produktivitas terhadap Dampak Ekonomi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Produktivitas terhadap Dampak Ekonomi

Komoditas	Peningkatan Produktivitas (%)	Kepuasan Pengguna (Skala 1-5)	Prosentase Peningkatan Pendapatan (%)
Kacang Tanah	25%	5	30%
Kacang Mete	21%	4	25%
Kacang Kedelai	22%	4	28%
Kacang Merah	20%	5	35%

#### 5) Pengujian Penilaian Produktivitas:

Pengujian produktivitas dan efisiensi pengeringan menggunakan pengering tak langsung menunjukkan hasil yang signifikan dibandingkan metode konvensional. Pada komoditas kacang tanah, sistem ini meningkatkan produktivitas hingga 20% dengan hasil pengeringan 73,6 kg dibandingkan 92 kg pada metode konvensional. Selain itu, kerugian pascapanen berhasil dikurangi sebesar 70%, dari 10% pada metode konvensional menjadi hanya 3%. Pola serupa terlihat pada kacang mete dengan peningkatan produktivitas 24% dan pengurangan kerugian pascapanen hingga 66,7%. Kacang hijau dan kacang merah masing-masing mencatat pengurangan kerugian pascapanen sebesar 66,7%, sementara kacang kedelai menunjukkan performa terbaik dengan pengurangan kerugian pascapanen mencapai 75%. Secara keseluruhan, penggunaan solar dryer tidak hanya meningkatkan hasil panen yang layak jual, tetapi juga secara signifikan mengurangi kerugian pascapanen. Pengujian produktivitas disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Penilaian Produktivitas

Komoditas	Hasil Pengeringan Konvensional (kg)	Hasil Pengeringan Solar Dryer (kg)	Peningkatan Produktivitas (%)	Kerugian Pascapanen Konvensional (%)	Kerugian Pascapanen Solar Dryer (%)	Pengurangan Kerugian Pascapanen (%)
Kacang Tanah	92	<b>73.6</b>	<b>20%</b>	10%	<b>3%</b>	<b>70%</b>
Kacang Mete	88	<b>66.8</b>	<b>24%</b>	12%	<b>4%</b>	<b>66.7%</b>
Kacang Hijau	94	<b>74.6</b>	<b>21%</b>	15%	<b>5%</b>	<b>66.7%</b>
Kacang Kedelai	95	<b>76.0</b>	<b>20%</b>	8%	<b>2%</b>	<b>75%</b>
Kacang Merah	90	<b>72.0</b>	<b>20%</b>	9%	<b>3%</b>	<b>66.7%</b>
Kacang Kapri	93	<b>74.2</b>	<b>18%</b>	11%	<b>4%</b>	<b>63.6%</b>

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap literatur mengenai efektivitas teknologi Internet of Things (IoT) dalam pemantauan dan pengendalian suhu untuk pengeringan hasil pertanian, khususnya yang menggunakan energi terbarukan. Penelitian Shahab et al. [15] menganalisis efektivitas sistem pengeringan surya berbasis IoT untuk efisiensi energi dan pengurangan waktu pengeringan, namun belum mencakup aspek keberlanjutan ekonomi dan sosial. Penelitian ini melangkah lebih jauh dengan menganalisis dampak ekonomi bagi petani kecil. Studi Vjih et al. [14] tidak mengintegrasikan energi terbarukan dalam sistem IoT untuk pemantauan suhu dan kelembapan. Sebaliknya, penelitian ini secara eksplisit menggunakan tenaga surya sebagai sumber daya utama untuk memperluas cakupan keberlanjutan.

Penelitian Spagnuolo et al. [18] fokus pada aplikasi IoT di pengeringan industri makanan dengan peningkatan efisiensi teknis, tetapi kurang membahas dampak langsung pada sektor pertanian kecil. Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan menargetkan kebutuhan petani kecil secara langsung untuk solusi yang lebih inklusif. Pemanfaatan sistem berbasis IoT menggunakan ESP32 dan sensor seperti DHT-11 untuk pemantauan suhu dan kelembapan secara *real-time*, penelitian ini membuktikan IoT mampu memberikan kontrol lingkungan presisi, sebagaimana ditemukan Saraswathi et al. [8] dalam konteks pertanian presisi. Dalam hal efisiensi energi, penelitian ini memperkuat temuan [13] yang menunjukkan potensi sistem pengering berbasis IoT untuk meningkatkan keberlanjutan menggunakan energi surya. Bahkan, penelitian ini menunjukkan pengurangan konsumsi energi hingga 30% dibandingkan metode tradisional.

Penelitian ini berfokus pada penggunaan energi terbarukan serta pendekatan holistik yang mencakup pengujian di berbagai kondisi lingkungan untuk memastikan stabilitas sistem. Dhillon dan Moncur menegaskan bahwa adopsi IoT harus diarahkan pada solusi yang dapat diakses luas oleh petani kecil, yang juga menjadi perhatian dalam penelitian ini. Secara praktis, penelitian ini menunjukkan peningkatan pendapatan petani kecil hingga 35% pada komoditas tertentu, dengan tingkat kepuasan pengguna mencapai skor 4,5 dari 5. Temuan ini mendukung kesimpulan Tantashutikun et al [19]. bahwa IoT dapat memberikan dampak positif signifikan pada sektor pertanian jika diimplementasikan dengan pendekatan inklusif. Penelitian ini tidak hanya membuktikan efektivitas teknologi IoT dalam pengendalian suhu pada sistem pengeringan hasil pertanian tetapi juga memperkuat penelitian sebelumnya, terutama terkait keberlanjutan ekonomi dan sosial. Dengan pendekatan berbasis energi terbarukan, sistem ini relevan untuk kebutuhan modern dalam efisiensi energi dan adaptasi perubahan iklim, serta menawarkan solusi nyata bagi petani kecil untuk meningkatkan kesejahteraan mereka.

#### 5. Simpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan menganalisis sistem pengering berbasis IoT yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengeringan hasil pertanian. Sistem ini mampu memantau dan mengontrol suhu serta kelembapan secara otomatis melalui pengumpulan data *real-time* dari sensor, sehingga mengurangi waktu pengeringan hingga 30% dibandingkan metode tradisional. Analisis kinerja menunjukkan bahwa stabilitas suhu dan

kelembapan yang terjaga berdampak positif pada kualitas produk akhir, sementara uji coba di berbagai kondisi lingkungan menunjukkan kemampuan sistem untuk beradaptasi dan memberikan hasil konsisten di berbagai lokasi. Penerapan teknologi ini memberikan manfaat signifikan, terutama bagi petani kecil, dengan meningkatkan produktivitas, hasil panen, dan mengurangi kerugian pascapanen. Studi kasus menunjukkan adanya peningkatan pendapatan dan kepuasan petani, yang mendukung keberlanjutan usaha tani. Teknologi ini juga memperkuat pentingnya solusi berbasis IoT dalam mendukung modernisasi sektor pertanian. Pengembangan penelitian lebih lanjut disarankan untuk meningkatkan adaptabilitas sistem terhadap kondisi lokal yang lebih spesifik, termasuk integrasi dengan sumber daya energi alternatif. Implementasi teknologi ini secara lebih luas diharapkan dapat memberikan dampak positif yang lebih besar bagi petani kecil, khususnya dalam menghadapi tantangan iklim dan meningkatkan kesejahteraan serta keberlanjutan sektor pertanian.

#### Daftar Referensi

- [1] S. M. Howden, J.-F. Soussana, F. N. Tubiello, N. Chhetri, M. Dunlop, and H. Meinke, "Adapting agriculture to climate change," *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 104, no. 50, pp. 19691–19696, Dec. 2007, doi: 10.1073/pnas.0701890104.
- [2] A. De Pinto, N. Cenacchi, H.-Y. Kwon, J. Koo, and S. Dunston, "Climate smart agriculture and global food-crop production," *PLOS ONE*, vol. 15, no. 4, p. e0231764, Apr. 2020, doi: 10.1371/journal.pone.0231764.
- [3] A. Katkam, K. V. S. S. Gelli, and C. Joydeb, "Design of an IoT based monitoring device & framework for reducing postharvest losses in tomatoes," presented at the 28TH International Meeting Of Thermophysics 2023, in 03L. Dalešice, Czech Republic, 2024, p. 020021. doi: 10.1063/5.0197330.
- [4] L. J, L. S. V. S, M. R, and M. R, "Automated food grain monitoring system for warehouse using IOT," *Meas. Sens.*, vol. 24, p. 100472, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.measen.2022.100472.
- [5] M. Palumbo *et al.*, "Emerging Postharvest Technologies to Enhance the Shelf-Life of Fruit and Vegetables: An Overview," *Foods*, vol. 11, no. 23, p. 3925, Dec. 2022, doi: 10.3390/foods11233925.
- [6] M. U. Hasan *et al.*, "Modern drying techniques in fruits and vegetables to overcome postharvest losses: A review," *J. Food Process. Preserv.*, vol. 43, no. 12, Dec. 2019, doi: 10.1111/jfpp.14280.
- [7] B. López-Velasco, A. Ruiz-Garcia, J. G. Cebada-Reyes, and C. A. Villaseñor-Perea, "IoT-based Environmental Monitoring and Prediction of Banana Moisture Content in a Solar Greenhouse Dryer," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 22, no. 10, pp. 881–890, Oct. 2024, doi: 10.1109/TLA.2024.10705969.
- [8] P. Saraswathi, S. Anandhika, M. Hannah Nissi, M. Prabha, A. Poornima Srinithi, and B. Dhiyanesh, "Precision Farming: A Temperature and Humidity Monitoring Approach," in *2024 5th International Conference on Image Processing and Capsule Networks (ICIPCN)*, in 08L. Dhulikhel, Nepal: IEEE, Jul. 2024, pp. 698–702. doi: 10.1109/ICIPCN63822.2024.00121.
- [9] R. Rajora, A. Rajora, R. Singh, and R. Gupta, "IoT Integration in Agricultural Infrastructure: From Fields to Clouds," in *2023 International Conference on Research Methodologies in Knowledge Management, Artificial Intelligence and Telecommunication Engineering (RMKMATE)*, in 09L. Chennai, India: IEEE, Nov. 2023, pp. 1–5. doi: 10.1109/RMKMATE59243.2023.10369026.
- [10] S. Joshi, M. Sharma, D. Kaushal, A. Misra, P. Gupta, and S. Gopal, "Optimizing Productivity and Efficiency in Agriculture through the Integration of Digital Technologies: A Smart Agriculture Perspective," in *2023 9th International Conference on Smart Computing and Communications (ICSCC)*, in 10L. Kochi, Kerala, India: IEEE, Aug. 2023, pp. 119–125. doi: 10.1109/ICSCC59169.2023.10335086.
- [11] N. Aji, Nazuwatussyah, and E. Joelianto, "IoT-Based Temperature and Relative Humidity Monitoring System Using Simple Network Management Protocol," in *2021 International Conference on Instrumentation, Control, and Automation (ICA)*, in 11L. Bandung, Indonesia: IEEE, Aug. 2021, pp. 174–179. doi: 10.1109/ICA52848.2021.9625689.

- [12] P. Macheso, S. Chisale, C. Daka, N. Dzupire, J. Mlatho, and D. Mukanyirigira, "Design of Standalone Asynchronous ESP32 Web-Server for Temperature and Humidity Monitoring," in *2021 7th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*, in 12L. Coimbatore, India: IEEE, Mar. 2021, pp. 635–638. doi: 10.1109/ICACCS51430.2021.9441845.
- [13] S. Balachandran, D. W. R. Bautista, B. Edward, V. Herald Wilson, and J. Swaminathan, "Design and Analysis of IOT-based Solar Dryer for Sustainable Farming," in *2023 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT)*, in 13L. Kuala Lumpur, Malaysia: IEEE, Dec. 2023, pp. 1–8. doi: 10.1109/i-PACT58649.2023.10434625.
- [14] S. Vijh, Arpita, J. P. Bora, P. K. Gupta, and S. Kumar, "IOT Based Real-Time Monitoring System for Precision Agriculture," in *2024 14th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence)*, in 14L. Noida, India: IEEE, Jan. 2024, pp. 53–58. doi: 10.1109/Confluence60223.2024.10463399.
- [15] H. Shahab, M. Iqbal, A. Sohaib, F. Ullah Khan, and M. Waqas, "IoT-based agriculture management techniques for sustainable farming: A comprehensive review," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 220, p. 108851, May 2024, doi: 10.1016/j.compag.2024.108851.
- [16] C. Teng, K. Lyu, M. Zhu, and C. Zhang, "Impact of Conservation Tillage Technology Application on Farmers' Technical Efficiency: Evidence from China," *Agriculture*, vol. 13, no. 6, p. 1147, May 2023, doi: 10.3390/agriculture13061147.
- [17] R. Dhillon and Q. Moncur, "Small-Scale Farming: A Review of Challenges and Potential Opportunities Offered by Technological Advancements," *Sustainability*, vol. 15, no. 21, p. 15478, Oct. 2023, doi: 10.3390/su152115478.
- [18] A. Spagnuolo *et al.*, "Industrial Drying of Fruit and Vegetable Products: Customized Smart Monitoring and Analytical Characterization of Process Variables in the OTTORTO Project," *Processes*, vol. 11, no. 6, p. 1635, May 2023, doi: 10.3390/pr11061635.
- [19] A. Ali, T. Hussain, N. Tantashutikun, N. Hussain, and G. Cocetta, "Application of Smart Techniques, Internet of Things and Data Mining for Resource Use Efficient and Sustainable Crop Production," *Agriculture*, vol. 13, no. 2, p. 397, Feb. 2023, doi: 10.3390/agriculture13020397.