

Sistem Monitoring dan Peramalan Intensitas Cahaya Matahari Berbasis *Internet of Things* Menggunakan Metode SARIMA

Schin Nasarani Pangaribuan¹, Nelson Nainggolan², Eric Alfonsius³

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Program Studi Sistem Informasi
Universitas Sam Ratulangi
schinpangaribuan106@student.unsrat.ac.id

Abstrak

Intensitas cahaya matahari merupakan parameter lingkungan yang dinamis dan dipengaruhi oleh perubahan waktu serta kondisi atmosfer. Penelitian ini bertujuan membangun sistem monitoring intensitas cahaya berbasis *Internet of Things* (IoT) serta menerapkan analisis time series menggunakan model Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) untuk peramalan intensitas cahaya. Sistem mengintegrasikan sensor BH1750, mikrokontroler ESP32, Firebase Realtime Database, dan web dashboard. Data dikumpulkan selama 30 hari (9 Februari-10 Maret 2026) dengan frekuensi lima kali per hari sehingga diperoleh 150 observasi, dan diuji menggunakan metode Black Box Testing. Sensor BH1750 memperoleh tingkat akurasi 93,70%. Model SARIMA(0,0,0)(1,1,1)[5] terpilih sebagai model terbaik dengan nilai Akaike Information Criterion (AIC) sebesar 2.568,98. Uji Ljung-Box menghasilkan p-value 0,4726 dan 0,7616, menunjukkan residual model memenuhi asumsi white noise. Evaluasi model menghasilkan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 10,08% dan Root Mean Square Error (RMSE) sebesar 1.613,54 lux, dengan peramalan tujuh hari ke depan menunjukkan pola musiman yang konsisten. Disimpulkan bahwa sistem mampu melakukan monitoring secara real-time serta menghasilkan peramalan dengan akurasi yang baik. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang umumnya hanya berfokus pada monitoring, penelitian ini menawarkan kebaruan berupa integrasi monitoring IoT dan peramalan SARIMA.

Kata kunci: Intensitas Cahaya, Internet of Things, Monitoring, SARIMA, Time Series

Abstract

Sunlight intensity is a dynamic environmental parameter influenced by temporal changes and atmospheric conditions. This study aims to develop an *Internet of Things* (IoT)-based sunlight intensity monitoring system and apply time-series analysis using the Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) model to forecast sunlight intensity. The system integrates a BH1750 sensor, an ESP32 microcontroller, a Firebase Realtime Database, and a web dashboard. Data were collected over 30 days (February 9 – March 10, 2026) at a frequency of five readings per day, yielding 150 observations, and the system was validated using Black Box Testing. The BH1750 sensor achieved an accuracy rate of 93.70%. The SARIMA(0,0,0)(1,1,1)[5] model was selected as the optimal model, with an Akaike Information Criterion (AIC) value of 2,568.98. Ljung-Box tests yielded p-values of 0.4726 and 0.7616, indicating that the model residuals satisfied the white noise assumption. Model evaluation resulted in a Mean Absolute Percentage Error (MAPE) of 10.08% and a Root Mean Square Error (RMSE) of 1,613.54 lux, with a seven-day forecast demonstrating a consistent seasonal pattern. It is concluded that the system is capable of real-time monitoring and generating forecasts with good accuracy. Unlike previous studies that generally focused solely on monitoring, this research offers novelty through the integration of IoT monitoring and SARIMA forecasting.

Keywords: Light Intensity, Internet of Things, Monitoring, SARIMA, Time Series

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris yang menempatkan sektor pertanian sebagai salah satu penopang utama ketahanan pangan dan perekonomian nasional [1]. Keberhasilan budidaya tanaman dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, seperti tanah, air, suhu, kelembapan, dan cahaya. Di antara faktor-faktor tersebut, cahaya matahari berperan sebagai sumber energi utama dalam proses fotosintesis yang menghasilkan bahan organik untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman [2]. Oleh karena itu, intensitas cahaya menjadi salah satu faktor penting yang memengaruhi laju fotosintesis serta produktivitas tanaman [3].

Intensitas cahaya matahari bersifat dinamis karena dipengaruhi oleh cuaca, tutupan awan, dan kondisi atmosfer sehingga nilainya berubah sepanjang waktu [4]. Oleh karena itu, diperlukan pemantauan kontinu untuk memperoleh data historis yang akurat [5], sebab pengukuran manual pada waktu tertentu berpotensi tidak merekam perubahan singkat secara menyeluruh [6].

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) menjawab keterbatasan tersebut dengan mengintegrasikan sensor, mikrokontroler, jaringan komunikasi, dan media penyimpanan data, sehingga pengukuran, pengiriman, dan penyimpanan data dapat berlangsung secara otomatis dan *real-time*. Dengan begitu, informasi hasil monitoring dapat diakses dengan cepat melalui web dashboard [4].

Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem monitoring intensitas cahaya berbasis IoT dengan sensor BH1750 dan mikrokontroler ESP32, dan menunjukkan bahwa sistem tersebut mampu mengukur serta mengirimkan data

intensitas cahaya secara otomatis sekaligus menampilkan hasilnya secara *real-time* [5] [6]. Meski begitu, penelitian-penelitian tersebut umumnya masih terbatas pada proses monitoring, penyimpanan, dan visualisasi data. Sebagai gambaran, Pratiwi, Supit, dan Cakra (2025) membangun sistem monitoring intensitas cahaya berbasis BH1750 dan ESP32 yang dapat menampilkan data secara real-time, tetapi belum sampai pada tahap analisis prediktif atas data historis yang terkumpul. Akibatnya, pemanfaatan data historis untuk menghasilkan informasi prediktif masih relatif minim, sehingga informasi yang tersedia baru menggambarkan kondisi saat pengukuran berlangsung dan belum memberikan estimasi untuk periode berikutnya.

Pemanfaatan data historis melalui analisis *time series* memungkinkan pola perubahan intensitas cahaya dikenali sehingga dapat dihasilkan estimasi kondisi pada periode berikutnya. Hasil peramalan ini melengkapi hasil monitoring dengan menggambarkan kecenderungan perubahan intensitas cahaya berdasarkan pola historisnya, sehingga kondisi pencahayaan pada periode mendatang bisa diperkirakan lebih awal. Salah satu metode yang cocok untuk data berpola musiman adalah *Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average* (SARIMA) karena dapat mengakomodasi komponen musiman dalam proses peramalannya [7]. Keandalan metode ini juga telah teruji pada penelitian terdahulu terkait peramalan radiasi matahari [8].

Penelitian ini merancang sistem monitoring intensitas cahaya berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mengintegrasikan sensor BH1750, ESP32,

Firestore Realtime Database, dan web dashboard untuk melakukan monitoring secara *real-time*. Selain itu, penelitian ini menggunakan metode *Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average* (SARIMA) untuk menghasilkan peramalan intensitas cahaya dari data historis hasil monitoring. Berbeda dari penelitian-penelitian sebelumnya yang umumnya hanya berfokus pada monitoring, penelitian ini menggabungkan proses monitoring dengan analisis prediktif sekaligus mengevaluasi hasil peramalannya terhadap kebutuhan cahaya tanaman stroberi.

Penelitian ini penting karena adanya kebutuhan akan informasi yang bersifat prediktif, bukan sekadar deskriptif, agar kondisi pencahayaan pada periode mendatang bisa diantisipasi sejak awal. Secara praktis, penggabungan monitoring dan peramalan ini berguna untuk mendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan lingkungan budidaya, terutama dalam menjaga kesesuaian intensitas cahaya bagi pertumbuhan tanaman stroberi.

Rumusan Masalah

1. Bagaimana cara merancang dan membangun sistem monitoring intensitas cahaya matahari secara *real-time* dengan memanfaatkan teknologi IoT?
2. Bagaimana kinerja metode SARIMA ketika digunakan untuk meramalkan intensitas cahaya berdasarkan data hasil monitoring IoT?

Tujuan Penelitian

1. Merancang dan membangun sistem monitoring intensitas cahaya berbasis IoT secara *real-time*.

2. Menerapkan metode SARIMA untuk melakukan peramalan intensitas cahaya matahari.

Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan penerapan *Internet of Things* (IoT) pada sistem monitoring lingkungan, serta pemanfaatan metode *Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average* (SARIMA) untuk analisis dan peramalan data deret waktu. Penelitian ini juga diharapkan menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya pada bidang yang serupa.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini menghasilkan sistem monitoring intensitas cahaya berbasis IoT yang dapat melakukan pengukuran, penyimpanan, dan visualisasi data secara *real-time* melalui web dashboard. Selain itu, penelitian ini menghasilkan informasi prediktif melalui metode SARIMA yang dapat melengkapi hasil monitoring dengan menyediakan estimasi intensitas cahaya pada periode mendatang, sekaligus mengevaluasi kesesuaiannya terhadap kebutuhan cahaya tanaman stroberi.

Tinjauan Pustaka

Berbagai sistem monitoring intensitas cahaya berbasis *Internet of Things* (IoT) telah dikembangkan dengan memanfaatkan sensor BH1750 dan mikrokontroler ESP32, dan sistem-sistem tersebut mampu melakukan pengukuran, pengiriman, penyimpanan, serta visualisasi data intensitas cahaya secara *real-time*, sehingga pemantauan kondisi lingkungan bisa berlangsung lebih efektif. Penerapan

teknologi IoT di bidang hortikultura juga menunjukkan bahwa integrasi sensor, mikrokontroler, dan media visualisasi berbasis web mampu mendukung monitoring lingkungan budidaya secara berkelanjutan [9], [10].

Metode *Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average* (SARIMA) telah banyak digunakan untuk meramalkan data deret waktu yang berpola musiman, dengan tingkat akurasi yang baik di berbagai bidang seperti peramalan penjualan, produksi pertanian, maupun data lingkungan. Model ARIMA beserta turunannya juga telah terbukti mampu memberikan hasil peramalan yang baik pada data radiasi matahari yang bersifat musiman [8], [11].

Berdasarkan tinjauan tersebut, sistem monitoring intensitas cahaya berbasis IoT pada umumnya masih terfokus pada pengukuran, penyimpanan, dan visualisasi data secara real-time, sementara penerapan SARIMA cenderung berdiri sendiri sebagai analisis terpisah. Oleh sebab itu, penelitian ini menggabungkan sensor BH1750, ESP32, Firebase Realtime Database, dan web dashboard bersama metode SARIMA dalam satu sistem, sehingga dapat menyajikan data secara real-time sekaligus menghasilkan informasi prediktif berupa peramalan intensitas cahaya./

Untuk memperjelas posisi penelitian ini terhadap penelitian-penelitian sebelumnya, perbandingan disajikan pada Tabel 1. di bawah ini.

Tabel 1. Posisi Penelitian pada Tinjauan Pustaka

No	Peneliti	Metode	Objek	Hasil	Kelemahan
1	Pratiwi <i>et al.</i> , 2025	IoT (BH1750, ESP32)	Monitoring intensitas cahaya lampu pijar	Sistem mampu memonitor dan mengoptimalkan energi	Belum menerapkan analisis prediktif terhadap data historis

				secara real-time	
2	Rahma., 2025	IoT (BH1750, ESP32)	Monitoring cahaya pada tanaman anggrek	Data intensitas cahaya dapat dipantau secara real-time	Hanya berfokus pada monitoring, tanpa peramalan
4	Chodakowska <i>et al.</i> , 2023	ARIMA/SARIMA	Radiasi matahari pada beberapa lokasi geografis	Model ARIMA mampu meramalkan radiasi matahari dengan akurasi baik	Tidak diintegrasikan dengan sistem monitoring IoT secara langsung
5	Febiola <i>et al.</i> , 2024	ARIMA dan SARIMA	Jumlah penumpang bandara	SARIMA memberikan hasil peramalan yang lebih akurat pada data musiman	Diterapkan pada data non-lingkungan sehingga karakteristik musiman berbeda
6	Penelitian ini	IoT (BH1750, ESP32, Firebase) dan SARIMA	Intensitas cahaya matahari untuk budidaya stroberi	Integrasi monitoring real-time dan peramalan dalam satu sistem	Data terbatas pada satu lokasi dan periode pengamatan 30 hari

LANDASAN TEORI

1. *Internet of Things* (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah konsep yang menghubungkan berbagai perangkat fisik melalui jaringan internet, sehingga proses pengumpulan, pengiriman, dan pertukaran data dapat berlangsung secara otomatis tanpa campur tangan manusia secara langsung. Penerapan IoT memungkinkan proses monitoring berlangsung secara *real-time* sehingga informasi yang diperoleh bisa diakses

secara cepat dan efisien. Teknologi ini banyak dimanfaatkan di sektor pertanian untuk mendukung pemantauan kondisi lingkungan secara berkelanjutan [4].

2. Sensor BH1750

Sensor BH1750 merupakan sensor digital yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya dalam satuan *lux*. Sensor menggunakan komunikasi *Inter-Integrated Circuit (I2C)* sehingga dapat diintegrasikan dengan berbagai jenis mikrokontroler, termasuk ESP32. Sensor ini memiliki akurasi yang cukup baik, konsumsi daya yang rendah, dan mampu melakukan pengukuran secara *real-time*, sehingga banyak digunakan pada sistem monitoring lingkungan berbasis IoT [12]. Penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa sensor BH1750 memiliki kinerja yang baik untuk pengukuran iluminansi pada sistem monitoring berbasis mikrokontroler [13].

3. Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya adalah besarnya cahaya yang diterima suatu permukaan, yang umumnya dinyatakan dalam satuan *lux*. Dalam bidang pertanian, intensitas cahaya menjadi salah satu faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap proses fotosintesis, sehingga ikut menentukan pertumbuhan dan perkembangan tanaman [3]. Besarnya intensitas cahaya dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain posisi matahari, kondisi atmosfer, dan waktu pengamatan, sehingga nilainya berubah-ubah sepanjang hari [14]. Karena itu, diperlukan pemantauan intensitas cahaya secara kontinu agar diperoleh data yang akurat dan representatif.

4. Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA)

Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) merupakan

pengembangan dari metode Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) yang dapat mengakomodasi komponen musiman pada data deret waktu. Tahapan pembentukan modelnya mencakup uji stasioneritas, identifikasi model melalui ACF/PACF, estimasi parameter, uji diagnostik residual, dan evaluasi akurasi menggunakan MAE, RMSE, serta MAPE [17]. Model ARIMA beserta turunannya terbukti mampu memberikan hasil peramalan yang baik pada data radiasi matahari yang berpola musiman [5].

5. Metrik Evaluasi Model (MAPE dan RMSE)

Evaluasi model dilakukan menggunakan metrik *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). RMSE menghitung akar kuadrat dari rata-rata kesalahan prediksi, sehingga lebih peka terhadap kesalahan bernilai besar, sedangkan MAPE menghitung rata-rata persentase kesalahan absolut antara nilai aktual dan nilai hasil peramalan, sehingga menggambarkan tingkat kesalahan model dalam bentuk persentase. [9]. Evaluasi model dirumuskan sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - F_t)^2}{n}} \quad (1)$$

$$MAPE = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - F_t}{X_t} \right| \quad (2)$$

Dimana X_t merupakan nilai asli pada waktu (t) tertentu, F_t merupakan nilai prediksi suatu waktu(t) tertentu dan n merupakan jumlah data. Semakin kecil nilai MAPE dan RMSE, semakin baik pula kemampuan model menghasilkan prediksi yang mendekati nilai aktual. Penggunaan kedua metrik ini secara bersamaan memberikan evaluasi yang lebih menyeluruh terhadap performa model peramalan [9].

Kriteria penilaian MAPE menurut [15] yaitu MAPE <10% (sangat baik), 10%-<20% (baik), 20%-<50% (cukup), dan >50% (buruk).

6. Akaike Information Criterion (AIC)

Akaike Information Criterion (AIC) merupakan ukuran statistik yang dipakai untuk memilih model terbaik di antara sejumlah model kandidat. AIC memperhitungkan keseimbangan antara kecocokan model terhadap data (*goodness of fit*) dan kompleksitas model yang tercermin dari jumlah parameternya. Model dengan nilai AIC terkecil dianggap memiliki keseimbangan terbaik antara kemampuan menjelaskan data dan kesederhanaan modelnya, sehingga dalam pemodelan ARIMA maupun SARIMA, AIC kerap dijadikan dasar untuk memilih kombinasi orde yang paling optimal [16]

Persamaan AIC adalah:

$$AIC = 2k - 2\ln(L) \quad (3)$$

Dengan:

k = jumlah parameter model

L = nilai maximum likelihood

7. Uji Ljung-Box

Uji Ljung-Box adalah pengujian statistik yang digunakan untuk mengetahui apakah residual model masih mengandung autokorelasi. Residual yang memenuhi asumsi *white noise* menunjukkan bahwa pola dalam data sudah dijelaskan oleh model. Hipotesis nol (H_0) menyatakan residual tidak memiliki autokorelasi, dan apabila nilai *p-value* lebih besar dari 0,05 maka H_0 gagal ditolak, sehingga residual dapat dikatakan bersifat *white noise* dan model layak digunakan untuk peramalan [17].

Statistik uji Ljungbox dirumuskan sebagai berikut:

$$Q = n(n+2) \sum_{k=1}^m \frac{\rho_k^2}{n-k} \quad (4)$$

Dengan:

n = jumlah obeservasi

m = jumlah lag

ρ_k = autokorelasi residual pada lag ke k

8. Tinjauan Singkat Tanaman Stroberi

Stroberi (*Fragaria* × *ananassa*) adalah komoditas hortikultura hasil persilangan *Fragaria virginiana* dan *Fragaria chiloensis*, yang pertumbuhan dan produktivitasnya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya (*Fragaria* × *ananassa*). Tanaman ini tergolong peka terhadap cahaya: intensitas cahaya yang rendah dapat menghambat pertumbuhannya, sedangkan intensitas yang sesuai meningkatkan pertumbuhan serta produktivitas stroberi [18].

METODE PENELITIAN

Metode yang dipilih dalam penelitian ini adalah metode Waterfall. Model Waterfall merupakan metodologi pengembangan sistem yang bersifat klasik, sistematis, dan berurutan [19]. Adapun Alur Pengembangan Sistem sebagai berikut:

1. Requirement Analysis and Definition

Pada tahap awal ini dilakukan identifikasi dan analisis kebutuhan sistem, baik kebutuhan perangkat keras maupun perangkat lunak, mencakup sensor BH1750, mikrokontroler ESP32, Firebase Realtime Database, dan web dashboard sebagai media monitoring intensitas cahaya secara *real-time*.

2. System and Application Design

Pada tahap ini dilakukan perancangan arsitektur sistem, mencakup desain perangkat keras, alur komunikasi data, *Firebase Realtime Database*, serta antarmuka web dashboard, agar seluruh komponen sistem dapat terintegrasi dengan baik.

3. Implementation and Unit Testing

Rancangan yang telah dibuat kemudian diwujudkan melalui perakitan perangkat keras, pemrograman ESP32 dengan Arduino IDE, pengembangan web dashboard, dan konfigurasi Firebase Realtime Database. Setiap komponen sistem juga diuji secara terpisah pada tahap ini untuk memastikan komponen tersebut berfungsi sesuai rancangan.

4. *Integration and System Testing*

Pada tahap ini seluruh komponen sistem diintegrasikan, meliputi sensor BH1750, ESP32, Firebase Realtime Database, dan web dashboard.

Setelah integrasi selesai, sistem diuji secara menyeluruh dengan metode *Black Box Testing* guna memastikan seluruh fungsi sistem—mulai dari pembacaan, pengiriman, dan penyimpanan data, hingga visualisasi data pada web dashboard—berjalan sesuai kebutuhan pengguna.

5. *Operation and Maintenance*

Pada tahap ini sistem dioperasikan untuk melakukan monitoring intensitas cahaya secara *real-time* sekaligus pengumpulan data penelitian. Sepanjang tahap ini, kinerja sistem dipantau dan dilakukan pemeliharaan apabila ditemukan kesalahan atau gangguan pada perangkat keras maupun perangkat lunak. Data intensitas cahaya yang terkumpul selanjutnya dijadikan data masukan dalam analisis deret waktu menggunakan metode *Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average* (SARIMA) untuk menghasilkan peramalan intensitas cahaya pada periode mendatang.

Prosedur Pengumpulan Data

Data intensitas cahaya dikumpulkan secara otomatis oleh sistem monitoring selama periode 9 Februari hingga 10 Maret 2026 (30 hari) dengan interval pencatatan

lima kali per hari, yaitu pada pukul 06.00, 09.00, 12.00, 15.00, dan 18.00 WITA, sehingga diperoleh 150 observasi. Pemilihan waktu tersebut didasarkan pada representasi pola perubahan intensitas cahaya sepanjang hari, mulai dari pagi, siang, hingga sore hari.

Pengambilan data dilakukan pada satu lokasi pengamatan yang sama dengan kondisi lingkungan berupa area terbuka tanpa penghalang signifikan terhadap sinar matahari, sehingga data yang diperoleh merepresentasikan kondisi pencahayaan alami pada lokasi tersebut. Selama periode pengamatan, tidak ditemukan data yang hilang (*missing value*) karena sistem monitoring berbasis IoT melakukan pencatatan secara otomatis dan tersimpan langsung pada *Firebase Realtime Database*.

Meskipun demikian, apabila pada proses pengambilan data ditemukan nilai yang tidak valid, misalnya akibat gangguan koneksi Wi-Fi atau kesalahan pembacaan sensor, data tersebut diperiksa kembali dan diukur ulang pada waktu pencatatan terdekat untuk menjaga kelengkapan dan validitas dataset.

Desain dan Arsitektur Sistem

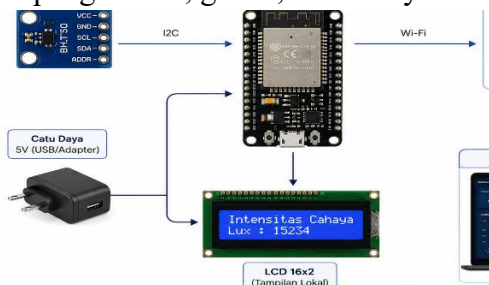
Sistem yang dirancang dalam penelitian ini bertujuan untuk membangun sistem monitoring intensitas cahaya berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dapat melakukan pemantauan intensitas cahaya secara *real-time* melalui web dashboard. Adapun instrumen yang digunakan dalam penelitian ini:

Tabel 2. Instrumen Penelitian

No	Nama Alat	Fungsi
1	Sensor BH1750	Mengukur intensitas cahaya (lux).
2	ESP32	Mengolah data sensor dan mengirimkan data ke

No	Nama Alat	Fungsi
		Firestore Realtime Database melalui Wi-Fi.
3	LCD 16x2 dengan modul I2C	Menampilkan hasil pengukuran intensitas cahaya
4	Arduino IDE	Mengembangkan dan mengunggah program ke mikrokontroler ESP32.
5	Firestore Realtime Database	Menyimpan data hasil monitoring intensitas cahaya secara real-time.

Sistem ini dirancang dengan mengintegrasikan sensor BH1750, mikrokontroler ESP32, Firestore Realtime Database, dan web dashboard. Data intensitas cahaya dibaca oleh sensor BH1750, kemudian diproses oleh ESP32 melalui I2C, ditampilkan pada LCD, dan dikirim ke Firestore Realtime Database melalui Wi-Fi. Data tersebut selanjutnya diakses oleh web dashboard, sehingga informasi intensitas cahaya dapat ditampilkan secara real-time dalam bentuk nilai pengukuran, grafik, dan riwayat data.

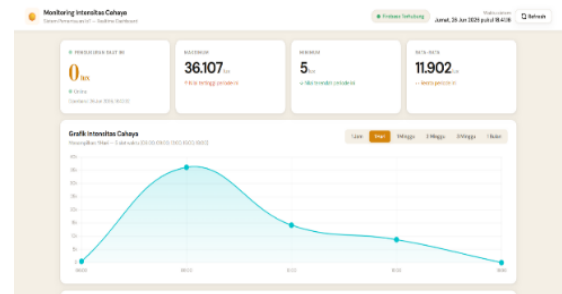


Gambar 1. Arsitektur Sistem Monitoring Intensitas Cahaya

Web Dashboard

Web dashboard dirancang sebagai antarmuka (*user interface*) untuk menyajikan hasil monitoring intensitas cahaya secara *real-time*. Dashboard ini dibangun menggunakan HTML sebagai struktur halaman web, CSS untuk mengatur tampilan antarmuka, dan JavaScript untuk mengelola interaksi pengguna serta menampilkan data secara dinamis.

Integrasi dengan *Firestore Realtime Database* dilakukan dengan Firestore JavaScript SDK, sehingga data hasil pengukuran yang dikirim oleh ESP32 dapat ditampilkan secara otomatis tanpa perlu proses penyegaran (*refresh*) halaman.



Gambar 2. Tampilan Web Dashboard

Dashboard menampilkan nilai intensitas cahaya saat ini beserta nilai maksimum, minimum, dan rata-rata dalam satuan lux, status koneksi Firestore, waktu sistem, serta grafik perubahan intensitas cahaya dengan pilihan rentang waktu (1 jam sampai 1 bulan). Seluruh data diperoleh langsung dari Firestore Realtime Database, sehingga selalu diperbarui secara real-time.

Time Series: Metode SARIMA

Analisis time series dilakukan menggunakan metode *Autoregressive Integrated Moving Average* (SARIMA) untuk memodelkan data intensitas cahaya [17]. Model SARIMA merupakan versi modifikasi dari ARIMA dengan memasukkan unsur musiman ke dalam perhitungannya:

$$SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)^s \quad (5)$$

Dimana:

(p, d, q) : Non-musiman

(P, D, Q) : Musiman

s : Jumlah periode

Model SARIMA $(p, d, q)(P, D, Q)^s$ dengan p adalah orde *Autoregressive* (AR), d adalah orde proses *differencing*, q adalah orde *Moving Average* (MA), P adalah orde *Autoregressive* (AR) musiman, D adalah

orde proses *differencing* musiman, Q adalah orde *Moving Average* (MA) musiman dan S adalah periode musiman secara umum dapat dituliskan sebagai:

$$\varphi_p(B)\varphi_P B^S(1-B)^d(1-B^S)^D Z_t = \theta_q(B)\theta_Q B^S \varepsilon_t \quad (6)$$

Dengan

φ_p : parameter AR

φ_P : parameter AR musiman

θ_q : parameter MA

θ_Q : parameter MA musiman

$(1-B^S)^D$: *differencing* musiman orde D

$(1-B)^d$: *differencing* dengan orde d

Tahapan analisis *time series* metode SARIMA pada penelitian ini meliputi:

- Pra-pemrosesan dan pemeriksaan data hilang;
- Uji stasioneritas menggunakan *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) dan *Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin* (KPSS);
- Identifikasi model melalui plot *Autocorrelation Function* (ACF) dan *Partial Autocorrelation Function* (PACF);
- Pemilihan model terbaik berdasarkan nilai Akaike Information Criterion (AIC) terkecil menggunakan fungsi *auto.arima* pada perangkat lunak R;
- Diagnostik residual menggunakan uji Ljung-Box untuk memastikan residual bersifat *white noise*;
- Evaluasi akurasi model;
- Peramalan tujuh hari ke depan.

Metode Pengujian Sistem

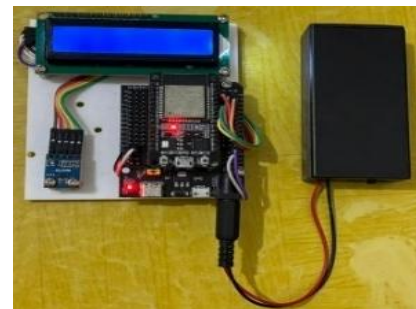
Pengujian akurasi sensor BH1750 dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor terhadap lux meter digital sebagai alat acuan [12]. Pengujian fungsionalitas sistem monitoring dan web dashboard dilakukan menggunakan metode *Black Box Testing*, yaitu pengujian yang berfokus pada kesesuaian keluaran sistem

terhadap masukan yang diberikan tanpa memeriksa struktur kode program.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi Sistem Monitoring

Implementasi sistem monitoring dilakukan berdasarkan arsitektur yang telah dirancang pada tahap metode penelitian, meliputi perakitan perangkat keras, pemrograman mikrokontroler ESP32, integrasi dengan *Firestore Realtime Database*, serta pengembangan web dashboard, sehingga seluruh komponen dapat berjalan sebagai satu kesatuan sistem monitoring intensitas cahaya berbasis *Internet of Things* (IoT).



Gambar 3. Hasil Rangkaian Sistem

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sensor BH1750 berhasil membaca intensitas cahaya dan mengirimkan datanya ke ESP32 melalui komunikasi I2C. Data tersebut kemudian diproses oleh ESP32, ditampilkan pada LCD sebagai tampilan lokal, lalu dikirim ke *Firestore Realtime Database* melalui jaringan Wi-Fi. Data yang tersimpan pada Firebase selanjutnya ditampilkan pada web dashboard, sehingga informasi hasil monitoring dapat diakses secara real-time.

Pengujian Sensor dan Sistem

Pengujian sensor BH1750 dilakukan guna mengevaluasi kemampuannya dalam mengukur intensitas cahaya, dengan cara membandingkan hasil pembacaannya

terhadap lux meter digital sebagai alat ukur acuan [12]. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali pada kondisi pencahayaan yang sama, dengan posisi kedua alat sejajar dan menghadap sumber cahaya yang sama. Tingkat akurasi sensor dihitung dari nilai persentase error menggunakan rumus berikut:

$$Akurasi = 100\% - Error\% \quad (7)$$

Dengan:

$$Error = \left| \frac{Lux\ sensor - Lux\ alat}{Lux\ alat} \right| \times 100\% \quad (8)$$

Tabel 3. Perbandingan Pengukuran Sensor BH1750 dengan Lux Meter

No	Lux Meter	BH1750	Selisih (Lux)	Error (%)
1	14905	14735	170	1,14
2	15162	14045	1117	7,37
3	15023	14488	535	3,56
4	15975	14868	1107	6,93
5	15821	14861	960	6,07
6	15934	14894	1040	6,53
7	15973	14781	1192	7,46
8	15809	14671	1138	7,20
9	15945	14455	1490	9,34
10	15916	14730	1186	7,45
Rata- rata Error				6.30

Berdasarkan Tabel 4, sensor BH1750 memperoleh rata-rata persentase *error* sebesar 6,30% dengan tingkat akurasi sebesar 93,70%, sehingga sensor ini layak dipakai pada sistem monitoring. Pengujian sistem IoT juga menunjukkan bahwa proses pembacaan data, pengiriman data dari ESP32 ke *Firestore Realtime Database*, serta penerimaan data pada web dashboard berjalan dengan baik secara *real-time*. Pengujian web dashboard dengan metode *Black Box Testing* juga menunjukkan bahwa seluruh fitur berjalan sesuai kebutuhan fungsional sistem.

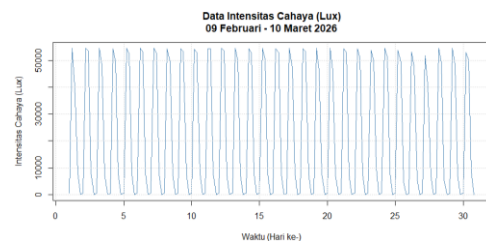
Time Series: Metode SARIMA

Dataset yang dipakai terdiri atas 150 data intensitas cahaya hasil pengukuran sensor BH1750 pada sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) selama

periode 9 Februari sampai 10 Maret 2026. Data ini dianalisis dengan metode Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) melalui tahapan pra-pemrosesan, visualisasi data, uji stasioneritas, identifikasi dan pemilihan model, evaluasi model, serta peramalan intensitas cahaya.

a. Visualisasi Data

Pengumpulan data berlangsung selama 30 hari dengan lima kali pengukuran per hari, sehingga diperoleh 150 observasi yang lengkap tanpa data hilang. Visualisasi data dilakukan untuk melihat pola perubahan intensitas cahaya selama periode pengamatan. Berdasarkan Gambar 5, data menunjukkan pola musiman yang berulang secara konsisten, ditandai peningkatan intensitas cahaya pada siang hari serta penurunan pada pagi dan sore hari.



Gambar 4. Visualisasi Data

b. Uji Stasioner Data dan Identifikasi Model

Uji stasioneritas dilakukan dengan dua pendekatan. Uji ADF pada data asli menghasilkan statistik -4,9248 (p-value 0,01), yang menunjukkan data stasioner secara rata-rata, sementara uji KPSS menghasilkan statistik 0,7618 (p-value <0,01), yang mengindikasikan ketidakstabilan pada komponen musiman. Hasil ini mengarah pada seasonal *differencing* orde D=1 dengan periode musiman s=5. Setelah *differencing*, uji KPSS yang diulang menghasilkan statistik 0,0765 (p-value

>0,10), sehingga data dapat dinyatakan stasioner secara musiman sebagaimana dirangkum pada Tabel 5.

Tabel 4. Hasil Uji Stasioner

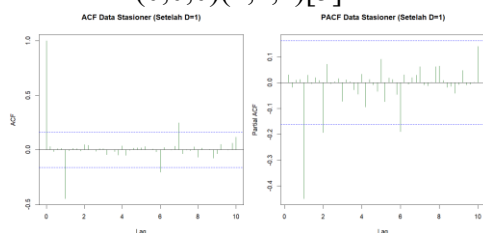
Tahapan Uji	Statistik	p-value	Status
ADF	-4,9248	< 0,01	Stasioner
KPSS	0,7618	< 0,01	Tidak Stasioner
KPSS (D=1)	0,0765	> 0,10	Stasioner

Data Setelah Seasonal Diff D=1 (Sudah Stasioner)



Gambar 5. Data Setelah Seasonal Differencing (D=1)

Identifikasi model melalui plot *Autocorrelation Function* (ACF) dan *Partial Autocorrelation Function* (PACF) menunjukkan adanya spike signifikan pada lag-1 yang meluruh ke dalam batas kepercayaan (mengindikasikan komponen MA musiman) serta spike pada lag musiman $s=5$ (mengindikasikan komponen AR musiman), sehingga struktur model yang sesuai mengarah pada SARIMA(0,0,0)(1,1,1)[5].



Gambar 6. Plot ACF dan PACF

c. Pemilihan Model, Diagnostik dan Evaluasi Model

Pemilihan model terbaik dengan fungsi `auto.arima()` berdasarkan nilai AIC terkecil menghasilkan model SARIMA(0,0,0)(1,1,1)[5] dengan AIC

= 2.568,98, sebagaimana disajikan pada Tabel 6.

Tabel 5. Perbandingan Nilai AIC Kandidat Model SARIMA

Model	AIC	Keterangan
SARIMA(0,0,0)(1,1,1) [5]	2568,98	Terpilih
SARIMA(0,0,0)(0,1,1) [5]	2569,16	-
SARIMA(0,0,0)(0,1,2) [5]	2569,43	-
SARIMA(0,0,0)(1,1,2) [5]	2570,66	-
SARIMA(0,0,0)(1,1,0) [5]	2584,47	-

Model tersebut dituliskan sebagai:

$$(1 + 0,1994B^5)(1 - B^5)Y_t = (1 + 0,6805B^5)\varepsilon_t \quad (9)$$

di mana B adalah operator *backshift*, Y_t adalah nilai observasi pada waktu ke- t , dan ε_t adalah residual pada waktu ke- t . Model ini tidak memiliki komponen non-musiman ($p = 0$, $d = 0$, $q = 0$), namun memiliki komponen musiman berupa SAR orde 1 ($P = 1$), seasonal differencing orde 1 ($D = 1$), dan SMA orde 1 ($Q = 1$) dengan periode musiman $s = 5$.

Diagnostik residual dengan uji Ljung-Box pada lag 10 dan lag 20 menghasilkan $Q=7,6083$ ($df=8$, p-value 0,4726) dan $X^2=13,492$ ($df=18$, p-value 0,7616). Karena kedua p-value jauh melebihi 0,05, hipotesis nol (tidak ada autokorelasi residual) gagal ditolak, sehingga residual dinyatakan white noise dan model dianggap sudah menangkap seluruh informasi sistematis dalam data.

Tabel 6. Hasil Uji Ljung-Box

Uji	Q-Statistik	df	P-value	Keputusan
Ljung-Box (lag = 10)	7,6083	8	0,4726	Gagal Tolak H_0 atau

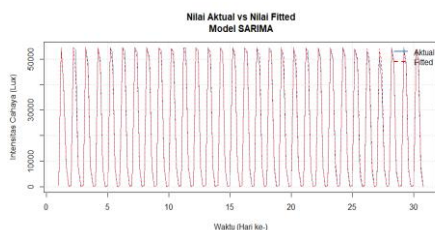
				bersifat <i>white noise</i>
Box-Ljung (lag = 20)	13,492	18	0,7616	Gagal Tolak H_0 atau bersifat <i>white noise</i>

Evaluasi akurasi model dilakukan menggunakan metrik *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dan *Root Mean Square Error* (RMSE). Hasil evaluasi ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 7. Hasil Evaluasi Akurasi Model

Metrik	Nilai	Kategori
MAPE (%)	10,08	Baik
RMSE (lux)	1613,54	-

Nilai MAPE sebesar 10,08% menunjukkan tingkat kesalahan peramalan yang relatif rendah (kategori baik), sementara nilai RMSE sebesar 1.613,54 lux menunjukkan rata-rata deviasi yang masih tergolong dapat diterima. Hasil ini mengindikasikan model SARIMA(0,0,0)(1,1,1)[5] memiliki kemampuan yang baik dalam memodelkan pola musiman pada data intensitas cahaya, sehingga layak dipakai untuk proses peramalan.

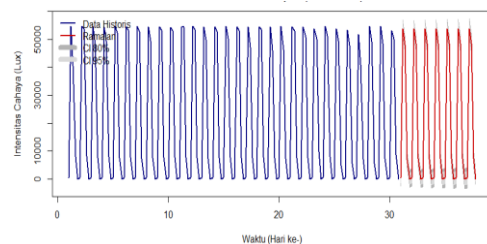


Gambar 7. Nilai Aktual vs Fitted SARIMA

- d. Peramalan 7 Hari ke Depan
Model SARIMA yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk melakukan peramalan selama 35 periode atau 7 hari ke depan, dengan lima kali pengamatan setiap harinya. Hasil peramalan beserta interval

kepercayaan 80% dan 95% ditunjukkan pada Gambar 9.

Hasil peramalan menunjukkan bahwa model dapat mempertahankan karakteristik pola musiman, sehingga bisa dijadikan dasar untuk memperkirakan kondisi intensitas cahaya pada periode mendatang.



Gambar 8. Forecast SARIMA

Analisis Intensitas Cahaya Pada Lingkungan Budidaya Tanaman Stroberi

Berdasarkan tinjauan teori, intensitas cahaya merupakan salah satu faktor lingkungan yang memengaruhi proses fotosintesis dan pertumbuhan tanaman stroberi. Oleh karena itu, hasil monitoring intensitas cahaya pada lokasi penelitian dianalisis untuk menggambarkan karakteristik kondisi pencahayaan selama periode pengamatan. Rata-rata intensitas cahaya berdasarkan waktu pengukuran disajikan pada Tabel 9.

Tabel 8. Rata-rata Intensitas Cahaya Berdasarkan Waktu Pengamatan

Waktu	Rata-rata (lux)
06.00	454,40
09.00	54.306,00
12.00	50.203,80
15.00	7.507,07
18.00	7,17

Berdasarkan Tabel 9, intensitas cahaya berubah cukup signifikan sepanjang hari: relatif rendah pada pukul 06.00, meningkat tajam pada pukul 09.00, dan tetap tinggi pada pukul 12.00. Selanjutnya, intensitas cahaya menurun pada pukul 15.00 dan mencapai titik terendah pada pukul 18.00.

Pola ini menunjukkan bahwa intensitas cahaya di lokasi penelitian mengikuti siklus harian yang dipengaruhi oleh posisi matahari dan kondisi lingkungan selama pengamatan.

Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, dataset yang digunakan hanya 150 observasi selama 30 hari, sehingga belum cukup untuk merepresentasikan pola musiman tahunan. Kedua, data hanya diambil dari satu lokasi, sehingga hasilnya belum bisa digeneralisasi ke kondisi geografis dan iklim lain. Ketiga, penelitian ini belum membandingkan performa SARIMA dengan metode peramalan lain seperti Prophet, Holt-Winters, atau LSTM.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem monitoring intensitas cahaya berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mengintegrasikan sensor BH1750, mikrokontroler ESP32, Firebase Realtime Database, dan *web dashboard* sehingga sistem mampu melakukan pemantauan intensitas cahaya secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan sensor BH1750 memiliki tingkat akurasi sebesar 93,70%, sehingga layak dipakai sebagai sensor pada sistem monitoring intensitas cahaya.

Penerapan metode *Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average* (SARIMA) menghasilkan model terbaik SARIMA(0,0,0)(1,1,1)[5] dengan nilai Akaike Information Criterion (AIC) sebesar 2.568,98. Hasil uji diagnostik residual menunjukkan model telah memenuhi asumsi *white noise*, sedangkan hasil evaluasi akurasi menunjukkan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE)

sebesar 10,08% dengan kategori baik dan *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 1.613,54 lux. Hasil peramalan selama tujuh hari ke depan menunjukkan pola musiman yang konsisten dengan data historis, sehingga model dinilai mampu merepresentasikan karakteristik perubahan intensitas cahaya dengan baik.

Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan tidak hanya mampu menyajikan informasi intensitas cahaya secara *real-time*, tetapi juga menghasilkan informasi prediktif melalui metode SARIMA. Di samping itu, hasil monitoring menunjukkan karakteristik perubahan intensitas cahaya harian pada lingkungan budidaya tanaman stroberi, sehingga informasi tersebut dapat dimanfaatkan sebagai pendukung dalam mengevaluasi kondisi pencahayaan berdasarkan data historis. Secara praktis, sistem yang dikembangkan dapat membantu petani memantau intensitas cahaya secara *real-time*, mendukung pengambilan keputusan terkait pengelolaan lingkungan budidaya tanaman stroberi, serta menjadi dasar pengembangan sistem pertanian cerdas (*smart agriculture*) yang lebih komprehensif.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan mengumpulkan data dalam periode yang lebih panjang, agar pola musiman tahunan dapat dianalisis dengan lebih baik. Selain itu, sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan parameter lingkungan lain, seperti suhu, kelembapan udara, dan kelembapan tanah, sehingga model peramalan mampu menggambarkan kondisi lingkungan secara lebih menyeluruh.

Selain itu, performa SARIMA dapat dibandingkan dengan metode peramalan lain, seperti LSTM, Prophet, atau Holt-Winters, untuk memperoleh gambaran yang lebih menyeluruh mengenai metode yang paling sesuai untuk data intensitas cahaya. Penambahan variabel lingkungan lain, seperti curah hujan, juga dapat dipertimbangkan. Sebagai pengembangan lanjutan, sistem dapat dirancang menjadi closed-loop system yang tidak hanya melakukan monitoring dan peramalan, tetapi juga pengendalian otomatis terhadap kondisi lingkungan budidaya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPS, "Statistik Tenaga Kerja Pertanian Agustus 2024," *Pus. Data Dan Sist. Inf. Pertan. Sekr. JENDERAL Kementerian. Pertan.* 2024, 2024.
- [2] H. Zannah, S. A. Zahroh, E. R. Sudarti, and T. P., "the Role of Sunlight in the Photosynthesis Process of Plants," *Cermin J. Penelit.*, vol. 7, no. 1, pp. 204–2014, 2023, doi: https://doi.org/10.36841/cermin_unars.v7i1.2897.
- [3] A. Saputri, M. S. Prayogo, and F. Ni'mah, "Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap Laju Fotosintesis pada Tanaman Bayam (*Amaranthus Sp.*)," *Flora J. Kaji. Ilmu Pertan. dan Perkeb.*, vol. 2, no. 2, pp. 01–13, 2025, doi: <https://doi.org/10.62951/flora.v2i2.312>.
- [4] A. I. Alfassa, A. Zhafira, R. Y. Sifa, E. K. Sari, N. Indriani, and N. Hidayah, "Literature Review: Pemanfaatan Internet of Things (Iot) Di Sektor Pertanian, Peternakan, Dan Perikanan," *J. Perangkat Lunak*, vol. 7, no. 2, pp. 198–209, 2025, doi: <https://doi.org/10.32520/jupel.v7i2.4237>.
- [5] A. N. Pratiwi, Y. Supit, and Cakra, "Pengembangan Sistem Monitoring Intensitas Cahaya Lampu Pijar Berbasis Iot Dan Sensor Bh1750 Untuk Optimasi Energi," *J. Sist. Inf. Dan Tek. Komput.*, vol. 10, no. 2, pp. 412–417, 2025, doi: <https://doi.org/10.51876/simtek.v10i2.1674>.
- [6] D. mauli Rahma, "Aplikasi Sensor Cahaya (BH1750) pada Tanaman Anggrek menggunakan ESP 32 Berbasis IoT," *Telekontran J. Ilm. Telekomun. Kendali dan Elektron. Terap.*, vol. 13, no. 1, pp. 10–18, 2025, doi: <https://doi.org/10.34010/telekontran.v13i1.14476>.
- [7] I. Setiawan, Junaidi, Fadjryani, and F. R. Amaliah, "Internet of Things (IoT) for Soil Moisture Detection Using Time Series Model," *J. Online Inform.*, vol. 7, no. 2, pp. 236–243, 2022, doi: <https://doi.org/10.15575/join.v7i2.951>.
- [8] E. Chodakowska, J. Nazarko, Ł. Nazarko, H. S. Rabayah, R. M. Abendeh, and R. Alawneh, "ARIMA Models in Solar Radiation Forecasting in Different Geographic Locations," *Energies*, vol. 16, no. 13, 2023, doi: [10.3390/en16135029](https://doi.org/10.3390/en16135029).
- [9] I. L. Hakim, M. Sanglise, and C. D. Suhendra, "Analisis Peramalan Harga Telur Ayam Ras Dengan Menggunakan Metode SARIMA," *J. Media Inform. Budidarma*, vol. 8, no. 2, p. 966, 2024, doi: <https://doi.org/10.30865/mib.v8i2.7610>.
- [10] Khuriati A, "Sistem Pemantau Intensitas Cahaya Ambien dengan Sensor BH1750 berbasis Mikrokontroller Arduino Nano," *Berk. Fis.*, vol. 25, no. 13, pp. 105–110, 2022.
- [11] A. Febiola et al., "Perbandingan Metode ARIMA dan SARIMA Dalam

- Peramalan Jumlah Penumpang Bandara Provinsi Kepulauan Bangka Belitung,” Jambura J. Math.*, vol. 6, no. 2, pp. 160–168, 2024, doi: <https://doi.org/10.37905/jjom.v6i2.25081>.
- [12] D. Hidayat and E. P. Broto, “Analisis Karakteristik Sensor BH1750 Berbasis Mikrokontroler pada Pengukuran Intensitas Cahaya,” *J. Sains Fis.*, vol. 1, no. 1, pp. 42–52, 2021, doi: <https://doi.org/10.24252/sainfis.v5i2.63950.g24229>.
- [13] R. Suhartina, S. I. P, A. Firdaus, N. Ferdana, and A. Hidayat, “Evaluasi Kinerja Sensor BH1750 pada Sistem Monitoring Iluminansi berbasis Mikrokontroller,” *Jatilima J. Multimed. Dan Teknol. Teknol.*, vol. 07, no. 04, pp. 885–892, 2025, doi: <https://doi.org/10.54209/jatilima.v7i04.1983>.
- [14] F. N. Aisyah, N. Ni, S. Sudarti, and Y. Yushardi, “Analisis Pola Intensitas Cahaya oleh Matahari,” *J. Pendidik. Tambusai*, vol. 9, pp. 15633–15639, 2025, doi: <https://doi.org/10.31004/jptam.v9i2.28044>.
- [15] N. Kurnia, “Penerapan Peramalan Penjualan Sembako Menggunakan Metode Single Moving Average (Studi Kasus Toko Kelontong Dedeh Retail),” *J. Ilm. Wahana Pendidik.*, vol. 8, no. September, pp. 307–316, 2022, doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7076573>.
- [16] P. R. Sihombing, W. P. Lestari, M. A. Nursaskiawati, and E. Indryani, “Perbandingan Performa ETS dan ARIMA dalam Pemodelan Harga CPO,” *J. Ekon. Dan Stat. Indones.*, vol. 2, no. 2, pp. 207–211, 2022, doi: 22, Vol. 2, No. 2, <http://dx.doi.org/10.11594/jesi.02.02.08>.
- [17] L. Junaedi, N. Damastuti, and A. Widodo, “Penerapan Metode Seasonal ARIMA (SARIMA) untuk Peramalan Penjualan Barang dengan Pola Musiman Tahunan,” *JISEM J. Progr. Stud. Inform. Univ. Katolik Widya Mandala Surabaya*, vol. 01, pp. 38–48, 2025, doi: <https://doi.org/10.33508/jisem.v1i01.7403>.
- [18] N. L. Rosyadi, A. Andriani, and S. Ashari, “Respon Pembungaan dan Hasil Beberapa Aksesori Stroberi (*Fragaria sp.*) Terhadap Variasi Lingkungan Fotoperiode Respons of Flowering and Yields of Some Strawberry (*Fragaria sp.*) Accessions to Photoperiod Environment Variation,” *J. Produksi Tanam.*, vol. 12, no. 4, pp. 284–294, 2024, doi: <https://doi.org/10.21776/ub.protan.2024.012.04.08>.
- [19] S. Saifudin, “Penerapan Model Waterfall Dan Blackbox Testing Dalam Pembuatan Sistem Informasi E-Aset Desa Berbasis Web,” *Informatics Comput. Eng. J.*, vol. 1, no. 2, pp. 14–18, 2021, doi: <https://doi.org/10.31294/icej.v1i2.445>.