

Prediksi Intensitas Cahaya Berbasis Interpolasi Newton pada Edge IoT ESP32

Doni M. Abdul Gani¹, Adi Aprianto²

12 Program Studi Teknik Elektro, Universitas Siliwangi, Indonesia.

*e-mail: donimabdulgani21@gmail.com

ABSTRAK

Intensitas cahaya merupakan parameter penting pada sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) yang memerlukan estimasi cepat dan stabil di sisi edge. Penelitian ini mengembangkan sistem prediksi intensitas cahaya berbasis ESP32 dengan menerapkan interpolasi polinomial Newton lokal pada data sensor LDR, dengan BH1750 sebagai pembanding. Data ADC diproses menggunakan median filter dan moving average, kemudian dikonversi ke intensitas cahaya melalui empat titik kalibrasi terdekat dari 16 titik kalibrasi. Hasil pengolahan ditampilkan pada dashboard web responsif yang dapat diakses melalui perangkat seluler. Pengujian menunjukkan bahwa keluaran LDR Newton mengikuti pembacaan BH1750 pada kondisi intensitas rendah, menengah, dan tinggi. Evaluasi error yang dihitung langsung pada ESP32 menghasilkan MAE 0.04 lux, RMSE 0.05 lux, dan MAPE 0.93%. Hasil ini menunjukkan bahwa interpolasi Newton lokal layak digunakan sebagai metode numerik ringan untuk prediksi intensitas cahaya secara real-time pada sistem edge IoT berbasis ESP32.

Kata Kunci: *edge IoT, ESP32, interpolasi Newton, BH1750, LDR.*

Light Intensity Prediction Based on Newton Interpolation in ESP32 Edge IoT

ABSTRACT

Light intensity is an important parameter in IoT-based monitoring systems that require fast and stable estimation at the edge. This study develops an ESP32-based light intensity prediction system by applying local Newton polynomial interpolation to LDR sensor data, with BH1750 used as the reference sensor. ADC values are processed using a median filter and moving average, then converted into light intensity through the nearest four calibration points from 16 calibration points. The processed results are displayed on a responsive web dashboard accessible via mobile devices. Testing shows that the Newton-based LDR output follows BH1750 readings under low, medium, and high light conditions. Error evaluation performed directly on the ESP32 produces MAE of 0.04 lux, RMSE of 0.05 lux, and MAPE of 0.93%. These results indicate that local Newton interpolation is suitable as a lightweight numerical method for real-time light intensity prediction in an ESP32-based edge IoT system.

Keywords: *edge IoT, ESP32, Newton interpolation, BH1750, LDR.*

I. PENDAHULUAN

Intensitas cahaya merupakan salah satu parameter penting dalam pemantauan lingkungan dan aplikasi pertanian cerdas berbasis IoT. Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa ESP32 dan BH1750 efektif digunakan untuk monitoring intensitas cahaya pada greenhouse, hidroponik, dan sistem pemantauan berbasis web dashboard [1], [2], [3], [4].

Sensor cahaya murah juga telah dimanfaatkan untuk estimasi radiasi matahari dan pengukuran cahaya lingkungan, sehingga pendekatan berbasis sensor berbiaya rendah tetap relevan untuk sistem pengukuran modern [5], [6]. Penelitian terbaru pun menunjukkan bahwa integrasi ESP32 dengan sensor lingkungan dan pemanfaatan sensor murah pada sistem IoT masih sangat potensial untuk monitoring real-time, khususnya pada pendekatan berbasis edge dan pertanian presisi [7], [8], [9]. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada monitoring atau kontrol, belum pada prediksi intensitas cahaya secara numerik di sisi perangkat edge.

Kondisi ini membuka peluang pengembangan sistem yang tidak hanya membaca data sensor, tetapi juga mampu memperkirakan nilai intensitas cahaya secara lokal dan cepat tanpa bergantung penuh pada server. ESP32 dipilih karena mendukung konektivitas Wi-Fi, komputasi ringan, dan implementasi IoT berdaya rendah, sehingga sesuai untuk pemrosesan data real-time di perangkat edge [10], [11], [12]. Dari sisi metode numerik, interpolasi polinomial Newton memiliki keunggulan karena bersifat konstruktif, mudah dihitung, dan cocok untuk data diskrit hasil pengukuran [13], [14]. Penerapan Newton pada sistem teknik juga menunjukkan bahwa metode ini layak digunakan untuk meningkatkan akurasi pemodelan pada sistem komputasi terbatas [15].

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengusulkan sistem prediksi intensitas cahaya berbasis ESP32 dengan interpolasi Newton lokal. LDR digunakan sebagai sensor utama, BH1750 sebagai pembanding, dan hasil pengolahan ditampilkan melalui dashboard web responsif. Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan sistem edge IoT yang mampu melakukan estimasi intensitas cahaya secara real-time, ringan, dan praktis untuk dipantau melalui perangkat seluler.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa sistem dengan tahapan perancangan, implementasi, dan pengujian. Sistem dibangun pada ESP32 sebagai perangkat edge yang membaca data ADC dari sensor LDR dan intensitas cahaya dari sensor BH1750. Data ADC diproses menggunakan median filter dan moving average untuk mengurangi noise, kemudian dikonversi menjadi intensitas cahaya melalui interpolasi polinomial Newton lokal berbasis empat titik kalibrasi terdekat. Hasil pengolahan ditampilkan pada dashboard web responsif yang dapat diakses melalui perangkat seluler. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian IoT berbasis ESP32 dan sensor cahaya yang menekankan monitoring real-time serta pemrosesan lokal [1], [2], [3].

Alat utama yang digunakan meliputi ESP32, sensor BH1750, sensor LDR yang dibaca melalui ADC, kabel penghubung, dan jaringan Wi-Fi. Bahan penelitian berupa data kalibrasi ADC ke lux, data pembacaan sensor, dan data historis untuk prediksi jangka pendek. Pada kode sistem, kalibrasi menggunakan 16 titik data ADC dan lux, sedangkan prediksi dilakukan pada dua jalur, yaitu LDR Newton dan BH1750, dengan buffer riwayat 5 titik dan interval prediksi 5 detik. Sistem juga menghitung MAE, RMSE, dan MAPE langsung pada ESP32 untuk menilai kualitas estimasi.

Secara matematis, interpolasi Newton digunakan untuk membentuk fungsi aproksimasi dari data diskrit hasil pengukuran [13], [14]. jika tersedia titik data (x_0, y_0) , (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) , (x_4, y_4) , maka polinom Newton dituliskan sebagai

$$P_4(x) = f[x_0] + f[x_0, x_1](x - x_0) + f[x_0, x_1, x_2](x - x_0)(x - x_1) + f[x_0, x_1, x_2, x_3](x - x_0)(x - x_1)(x - x_2) + f[x_0, x_1, x_2, x_3, x_4](x - x_0)(x - x_1)(x - x_2)(x - x_3)$$

(1)

dengan divided differences didefinisikan sebagai

$$f[x_i] = y_i$$

(2)

$$f[x_i, x_{i+1}, x_{i+2}, x_{i+3}, x_{i+4}] = \frac{f[x_{i+1}, x_{i+2}, x_{i+3}, x_{i+4}] - f[x_i, x_{i+1}, x_{i+2}, x_{i+3}]}{x_{i+4} - x_i}$$

(3)

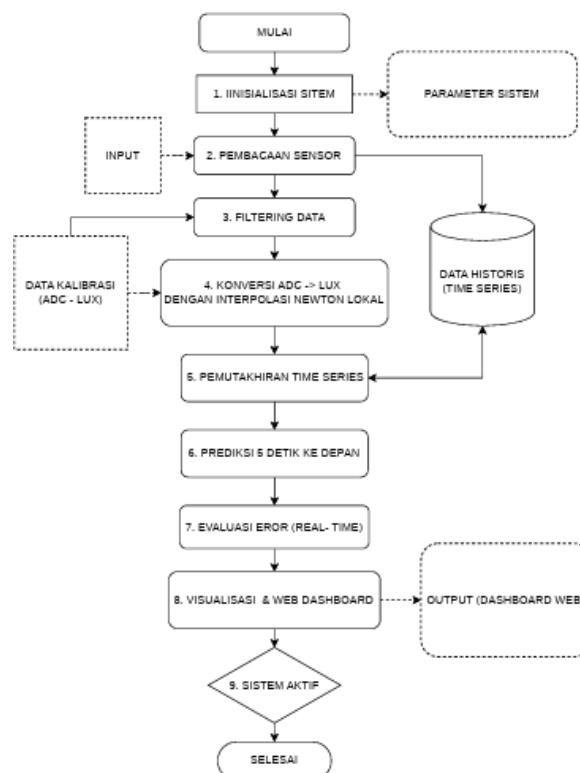
Pada penelitian ini digunakan orde empat agar komputasi tetap ringan pada ESP32 dan hasil tetap stabil untuk data sensor yang bersifat diskrit.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN(TIMES NEW ROMAN 11PT CAPITAL BOLD)

A. Hasil Implementasi Sistem

Sistem prediksi intensitas cahaya berbasis ESP32 berhasil diimplementasikan sebagai edge IoT yang melakukan pembacaan sensor, filtering data, interpolasi Newton lokal, prediksi 5 detik ke depan, serta evaluasi error secara real-time. Pada kode terbaru, sistem menggunakan 16 titik kalibrasi ADC ke lux, median filter, moving average, prediksi LDR dan BH1750, serta perhitungan MAE, RMSE, dan MAPE langsung di ESP32. Hasil pemrosesan ditampilkan pada web dashboard responsif yang dapat diakses melalui perangkat seluler.

FLOWCHART SISTEM PREDIKSI INTENSITAS CAHAYA BERBASIS ESP32



Gambar 1. Diagram alir sistem prediksi intensitas cahaya berbasis ESP32



Gambar 2. Tampilan dashboard pada perangkat seluler

Implementasi ini memperkuat posisi penelitian karena sistem tidak hanya melakukan monitoring, tetapi juga pemrosesan numerik lokal pada perangkat edge. Hal ini berbeda dari penelitian sebelumnya yang umumnya berfokus pada monitoring atau kontrol intensitas cahaya menggunakan ESP32 dan BH1750, misalnya pada greenhouse, hidroponik, dan sistem lingkungan berbasis IoT [1], [2], [3].

B. Hasil Kalibrasi ADC terhadap Lux

Kalibrasi dilakukan menggunakan 16 titik data untuk membentuk hubungan ADC dan lux. Titik ini menjadi dasar interpolasi Newton lokal pada ESP32. Data kalibrasi menunjukkan bahwa semakin besar nilai ADC, semakin besar pula intensitas cahaya yang dihasilkan. Struktur ini sesuai dengan karakter interpolasi Newton yang cocok untuk data diskrit hasil pengukuran.

Tabel 1. Data kalibrasi ADC–lux

No	ADC	Lux
1	170	0.00
2	400	0.83
3	550	0.83
4	600	1.67
5	800	1.67
6	1200	4.17
7	1290	4.17
8	1300	5.00
9	1400	5.00

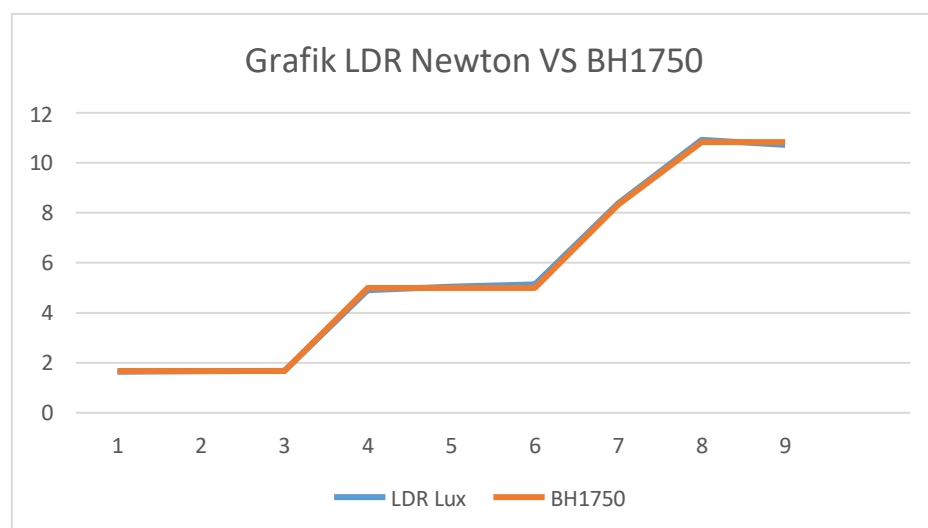
No	ADC	Lux
10	1700	8.33
11	1740	8.33
12	1750	9.17
13	1800	10.83
14	1850	10.83
15	1860	11.67
16	1900	11.67

C. Hasil Pengujian Intensitas Cahaya

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai LDR Lux Newton mengikuti pembacaan BH1750 dengan selisih yang kecil pada intensitas rendah, menengah, dan tinggi. Pada kondisi rendah, hasil berada di sekitar 1,61-1,68 lux; pada kondisi menengah sekitar 4,90-5,14 lux; dan pada kondisi tinggi sekitar 8,38-10,92 lux. Pola ini menunjukkan bahwa interpolasi Newton lokal mampu mempertahankan kedekatan hasil terhadap sensor referensi.

Tabel 2. Hasil pengujian sistem

ADC	LDR Lux Newton	BH1750 Lux	Prediksi LDR	Prediksi BH
597.30	1.64	1.67	1.57	1.67
600.00	1.67	1.67	1.65	1.67
601.00	1.68	1.67	1.48	1.67
1383.50	4.90	5.00	4.89	5.00
1406.40	5.05	5.00	5.10	5.00
1418.20	5.14	5.00	5.15	5.00
1740.60	8.38	8.33	8.19	8.33
1795.60	10.92	10.83	10.90	10.83
1804.40	10.72	10.83	10.70	10.83



Gambar 4. Grafik perbandingan LDR Newton dan BH1750

Hasil ini mendukung penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa BH1750 dan ESP32 efektif digunakan pada sistem monitoring intensitas cahaya di greenhouse, hidroponik, dan lingkungan IoT [1], [2], [4]. Namun, penelitian ini menambahkan lapisan baru berupa prediksi numerik lokal pada edge device, bukan sekadar monitoring atau kontrol.

D. Evaluasi Prediksi dan Error

Sistem juga menghasilkan prediksi 5 detik ke depan untuk LDR dan BH1750 berdasarkan data historis lima titik. Dari cuplikan log yang Anda kirim, prediksi LDR dan BH1750 masih mengikuti tren data aktual dengan cukup baik. Evaluasi error dihitung langsung pada ESP32 menggunakan MAE, RMSE, dan MAPE, sehingga sistem dapat menilai kualitas estimasi secara mandiri di sisi edge.

Dari sampel data yang tampak pada log pengujian, diperoleh rekapitulasi error berikut.

Tabel 3. Evaluasi error sistem

Metrik	Nilai sampel
MAE	0.04 lux
RMSE	0.05 lux
MAPE	0.93%

Nilai error yang kecil menunjukkan bahwa filtering data dan interpolasi Newton lokal membantu menjaga kestabilan keluaran. Penggunaan median filter dan moving average sebelum interpolasi membuat pembacaan lebih halus, sehingga hasil prediksi tidak mudah berosilasi. Pendekatan ini selaras dengan arah penelitian numerik yang menunjukkan bahwa Newton interpolation cocok untuk aproksimasi data diskrit dan efisien di perangkat komputasi terbatas [6], [10].

E. Pembahasan

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan monitoring, prediksi, dan evaluasi intensitas cahaya secara real-time pada ESP32. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi interpolasi polinomial Newton lokal, prediksi time-series 5 detik, dan evaluasi error langsung di edge device. Sebagian besar penelitian terdahulu hanya berhenti pada monitoring atau kontrol intensitas cahaya, sedangkan penelitian ini menambahkan fungsi estimasi numerik yang ringan dan dapat dijalankan tanpa server eksternal.

Dengan demikian, kombinasi sensor LDR, BH1750, filtering data, dan interpolasi Newton pada ESP32 layak digunakan sebagai solusi monitoring intensitas cahaya pada sistem edge IoT yang membutuhkan pemrosesan cepat, sederhana, dan responsif.

IV. KESIMPULAN (TIMES NEW ROMAN 11PT CAPITAL BOLD)

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem prediksi intensitas cahaya berbasis ESP32 dengan interpolasi polinomial Newton lokal dapat diimplementasikan secara efektif pada perangkat edge IoT, karena mampu melakukan pembacaan sensor LDR, penyaringan data, konversi intensitas cahaya, prediksi lima detik ke depan, serta evaluasi error secara real-time melalui dashboard web responsif. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa keluaran LDR Newton memiliki kecenderungan yang mendekati pembacaan BH1750 pada kondisi intensitas rendah, menengah, dan tinggi, sehingga metode yang digunakan layak diterapkan sebagai pendekatan numerik ringan untuk monitoring intensitas cahaya. Penelitian ini juga menegaskan bahwa pemrosesan lokal pada ESP32 dapat mendukung sistem yang cepat, praktis, dan hemat sumber

daya. Untuk penelitian selanjutnya, jumlah data kalibrasi dan rentang intensitas cahaya perlu diperluas agar akurasi prediksi dapat dievaluasi lebih komprehensif, serta metode interpolasi Newton dapat dibandingkan dengan pendekatan prediksi lain guna memperoleh hasil yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Almajdi and A. I. Uktoro, "Perancangan Sistem Monitoring dan Kontroling Intensitas Cahaya pada Greenhouse Berbasis IoT dan Web Dashboard," vol. 3, no. 2022, pp. 1278–1286, 2025.
- [2] M. Syahril and H. Sulistiani, "Implementation of the GY-302 BH1750 Sensor for Adjusting Light Intensity in Hydroponic Lettuce and Mustard Plants Implementasi Sensor GY-302 BH1750 untuk Penyesuaian Intensitas Cahaya pada Tanaman Selada dan Sawi Hidroponik," vol. 5, no. October, pp. 1490–1497, 2025.
- [3] J. Khairina and M. Fikry, "Development of an IoT-Based Smart Greenhouse with Fuzzy Logic for Chrysanthemum Cultivation," vol. 9, no. 5, pp. 2220–2229, 2025.
- [4] A. M. Hugo *et al.*, "IoT-Based Monitoring System Applied to Aeroponics Greenhouse," 2022.
- [5] W. Nramat, E. Songkroh, P. Boonma, W. Traiphath, and E. Martwong, "Implementation of a Wireless Sensor Network for Agro-Environmental Monitoring and Growing Degree Day-Based Rice Growth Assessment," pp. 1–18, 2026.
- [6] J. A. Nava-pintor *et al.*, "Development and Evaluation of Solar Radiation Sensor Using Cost-Effective Light Sensors and Machine Learning Techniques," pp. 1–31, 2025.
- [7] L.-M. Shih, H.-L. Tsai, and C.-Y. Tsai, "Design and Evaluation of Wireless DYU Air Box for Environment-Monitoring IoT System on Da-Yeh University Campus," *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 5, p. 2201, 2024.
- [8] T. S. Kalaivani, T. Kamireddy, and S. Govindakumar, "IoT-Enabled Soil and Crop Monitoring System Using Low-Cost Smart Sensors for Precision Agriculture," *Eng. Proc.*, vol. 118, no. 1, p. 77, 2025.
- [9] J. A. Nava-Pintor, "Development and Evaluation of Solar Radiation Sensor Using Cost-Effective Light Sensors and Machine Learning Techniques," *Technologies*, vol. 13, no. 5, p. 182, 2025.
- [10] U. Guloglu, S. Baghaee, E. Uysal, and E. Engineering, "Evaluation of Age Control Protocol (ACP) and ACP + on ESP32".
- [11] J. Palomeque-gonzalez, "A Modular , Low-Cost IoT System for Environmental and Behavioural Monitoring in Cultural Heritage Sites," 1895.
- [12] M. Hutagalung, Y. Gamaliel, N. P. Manullang, T. A. Nugroho, and D. Angela, "Development of Low-Power IOT Devices with Edge Machine Learning on ESP32-S3-Cam for Early Detection of Rice Diseases : Supporting Agricultural Efficiency," vol. 5, no. 03, pp. 454–464, 2026.
- [13] I. M. A. Journal *et al.*, "Multivariate Newton interpolation in downward closed spaces reaches the optimal Bernstein – Walsh approximation rate," pp. 1–30, 2026.
- [14] Y. Cheng, H. Zhang, J. Xing, and Z. Xiao, "An improved two-beat deadbeat synchronous predictive current control strategy for MMC based on Newton interpolation method," no. April, pp. 1–14, 2024, doi: 10.3389/fenrg.2024.1385029.
- [15] J. Bieber and M. Beitelschmidt, "Computationally efficient implementation of the Gauss – Newton method for solving the forward kinematics of redundant cable-driven parallel robots," no. August, pp. 1–8, 2023, doi: 10.1002/pamm.202300231.