p-ISSN : 2302-4216
e-ISSN : 2830-1765
Inovasi Fisika Indonesia
https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/inovasi-fisika-indonesia
Published by:
Program Studi Fisika
Jurusan Fisika FMIPA
Universitas Negeri Surabaya
Kampus Unesa Ketintang Jl. Ketintang Gd. C3 Lt. 1
Surabaya - Indonesia
jifi@unesa.ac.id

Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI) Volume 15 Nomor 3 Tahun 2026, hal 464-473

ANALISIS KOMPARATIF SISTEM MONITORING RADIASI UV, SUHU DAN KELEMBABAN BERBASIS ESP8266 TERHADAP DATA BMKG

[1)]Amelia Vega Nur Azza, [2)]Meta Yantidewi

[1)] Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: amelia.22053@mhs.unesa.ac.id
[2)] Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: metayantidewi@gmail.com

Abstrak

Radiasi ultraviolet merupakan bagian dari spektrum elektromagnetik Matahari dan berdampak signifikan terhadap kesehatan manusia, sehingga pemantauan berkelanjutan menjadi sangat penting. Penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan berbasis ESP8266 untuk mengukur intensitas radiasi UV, suhu udara, dan kelembaban relatif. Sistem ini mengintegrasikan sensor GUVA-S12SD, sensor DHT11, modul RTC DS3231, serta kartu microSD untuk penyimpanan data lokal. Data pengukuran dapat diunduh secara nirkabel melalui Wi-Fi, sehingga tidak perlu melepas kartu memori. Validasi sistem dilakukan dengan menempatkan perangkat yang dikembangkan berdampingan dengan pirameter referensi BMKG di Stasiun Meteorologi Juanda, Sidoarjo, selama satu sesi pengamatan dari pukul 07.00–12.00 WIB. Data dikumpulkan setiap menit, dirata-ratakan per jam, dan dievaluasi menggunakan *Mean Absolute Error* (MAE), *Root Mean* Square Error (RMSE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), serta koefisien determinasi (R^2). Hasilnya menunjukkan nilai MAPE sebesar 0,297% untuk intensitas UV, 3,661% untuk suhu udara, dan 0,558% untuk kelembaban relatif, dengan nilai R^2 masing-masing sebesar 0,993, 0,9945, dan 0,9006. Berdasarkan klasifikasi Lewis (1982), semua hasil dikategorikan sebagai "Sangat Baik," yang menunjukkan bahwa sistem berbasis ESP8266 yang diusulkan dapat diandalkan untuk memantau radiasi UV, suhu, dan kelembaban relatif dalam kondisi lapangan.

Kata Kunci: Radiasi ultraviolet; ESP8266; GUVA-S12SD; DHT11; Perbandingan dengan BMKG; Sistem pemantauan.

Abstract

Ultraviolet radiation is part of the Sun's electromagnetic spectrum and significantly affects human health, making continuous monitoring essential. This study developed an ESP8266-based monitoring system to measure UV radiation intensity, air temperature, and relative humidity. The system integrates a GUVA-S12SD sensor, a DHT11 sensor, a DS3231 RTC module, and a microSD card for local data storage. Measurement data can be downloaded wirelessly through Wi-Fi, eliminating the need to remove the memory card. System validation was performed by placing the developed device alongside the BMKG reference pyranometer at the Juanda Meteorological Station, Sidoarjo, during a single observation session from 07:00-12:00 WIB. Data were collected every minute, averaged hourly, and evaluated using Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), and the coefficient of determination (R^2). The results showed MAPE values of 0.297% for UV intensity, 3.661% for air temperature, and 0.558% for relative humidity, with corresponding R^2 values of 0.993, 0.9945, and 0.9006. According to Lewis's (1982) classification, all results were categorized as "Very Good," indicating that the proposed ESP8266-based system is reliable for monitoring UV radiation, temperature, and relative humidity under field conditions.

***Keywords**: Ultraviolet radiation; ESP8266; GUVA-S12SD; DHT11; BMKG comparison; Monitoring system.*

p-ISSN : 2302-4216
e-ISSN : 2830-1765
Inovasi Fisika Indonesia
https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/inovasi-fisika-indonesia
Published by:
Program Studi Fisika
Jurusan Fisika FMIPA
Universitas Negeri Surabaya
Kampus Unesa Ketintang Jl. Ketintang Gd. C3 Lt. 1
Surabaya - Indonesia
jifi@unesa.ac.id

I. PENDAHULUAN

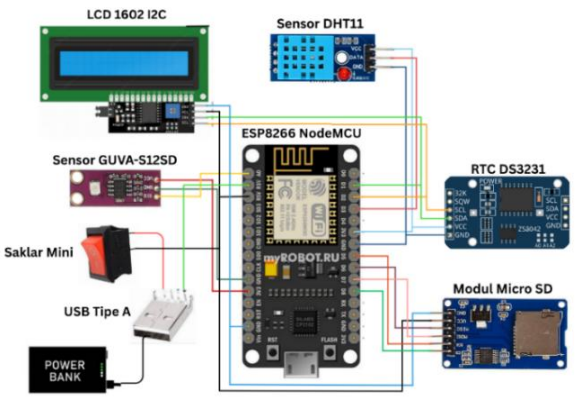
Radiasi ultraviolet (UV) merupakan bagian dari spektrum elektromagnetik matahari dengan rentang panjang gelombang 100–400 nm, yang dibagi menjadi UV-A (315–400 nm), UV-B (280–315 nm), dan UV-C (100–280 nm). Paparan sinar UV yang berlebihan menyebabkan sekitar 1,2 juta kasus baru kanker kulit non-melanoma dan 35.000 kasus melanoma pada tahun 2020, serta sekitar 64.000 kematian dini akibat kanker kulit non-melanoma dan 57.000 kematian dini akibat melanoma (WHO, 2022). Sebagai negara kepulauan yang terletak di garis khatulistiwa, Indonesia mengalami periode paparan sinar matahari yang lebih lama dan indeks UV yang lebih tinggi, sementara kematian akibat kanker kulit di Indonesia mencapai lebih dari setengah jumlah kasus baru yang tercatat (Fauziyyah et al., 2023). Kondisi ini menjadikan pemantauan intensitas radiasi UV secara berkelanjutan sebagai kebutuhan mendesak, terutama mengingat bahwa intensitas UV juga berkorelasi positif dengan suhu udara dan berkorelasi negatif dengan kelembaban relatif; oleh karena itu, pemantauan simultan ketiga parameter ini sangat penting untuk analisis komprehensif terhadap kondisi lingkungan (Blas Pérez-Gilaberte et al., 2023).

Kebutuhan akan pemantauan radiasi UV secara empiris telah mendorong pengembangan sistem pemantauan berbasis sensor yang berbiaya rendah. Lattanzio (2024) membangun alat pencatat data UV menggunakan sensor GUVA-S12SD, yang menunjukkan korelasi linier yang kuat dengan pengukuran UV standar di lapangan (Lattanzio, 2024). Pengembangan sistem pengukuran radiasi matahari berbasis IoT yang menggunakan fotodioda silikon menghasilkan nilai R^2 lebih dari 0,95 dengan ketidakpastian statistik kurang dari 4,0%, yang menunjukkan bahwa sistem berbiaya rendah dapat mendekati kinerja piranometer standar (da Rocha et al., 2021). Di bidang mikrokontroler, ESP8266 NodeMCU telah menjadi platform yang populer berkat kemampuan Wi-Fi bawaan yang dimilikinya, yang memungkinkan akuisisi dan transmisi data nirkabel (Bajrami & Murturi, 2018). Meskipun berbagai sistem pemantauan UV telah dikembangkan, sebagian besar masih memiliki keterbatasan terkait validasi terhadap instrumen meteorologi standar yang diakui secara resmi, di mana validasi langsung terhadap instrumen standar tetap menjadi langkah kritis (Alcalá et al., 2025).

II. METODE

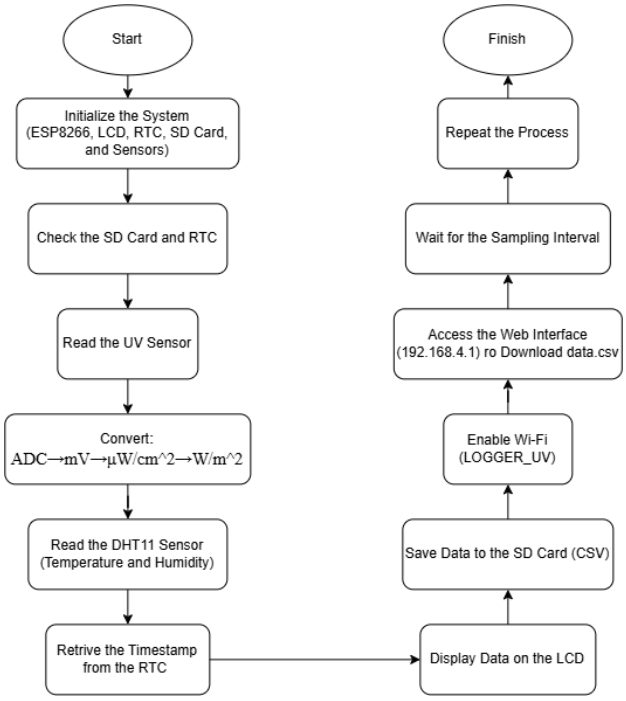
A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental dengan metode komparasi langsung (*direct comparison*) antara sistem monitoring yang dirancang dengan instrumen standar meteorologi BMKG. Pengujian dilakukan dalam satu sesi pengambilan data selama rentang waktu pukul 07.00–12.00 WIB di area Stasiun Meteorologi BMKG Juanda, Sidoarjo, Jawa Timur. Alat monitoring ditempatkan berdampingan langsung dengan *pyranometer* BMKG agar kedua instrumen menerima kondisi paparan radiasi matahari yang identik, sehingga perbedaan nilai yang terukur dapat dikaitkan langsung dengan karakteristik sensor dan sistem, bukan perbedaan kondisi lingkungan.



Gambar 1. Gambar Rangkaian Sistem *Monitoring*

Sistem monitoring yang dirancang terdiri atas komponen-komponen sebagaimana tercantum pada **Gambar 2**. Sensor GUVA-S12SD dihubungkan ke pin ADC (A0) ESP8266 untuk membaca tegangan *output* analog. DHT11 dihubungkan ke pin D4 untuk pembacaan suhu dan kelembaban secara digital. Modul RTC DS3231 dan LCD 1602 I2C dihubungkan melalui bus I²C pada pin D1 (SCL) dan D2 (SDA). Modul *micro* SD dihubungkan melalui antarmuka SPI pada pin D5–D8. Diagram rangkaian sistem disajikan pada **Gambar 1.**



Gambar 2. Diagram Alir Sistem Monitoring

Diagram alir (*flowchart*) sistem *monitoring* disajikan pada Gambar 3. Sistem bekerja dimulai dari inisialisasi seluruh komponen, dilanjutkan pengecekan SD Card dan RTC, pembacaan sensor UV dan DHT11, pengambilan *timestamp* dari RTC, penampilan data pada LCD, penyimpanan ke *micro* SD dalam format CSV, pengaktifan WiFi, hingga pengulangan proses setiap satu menit. Pengembangan perangkat lunak dilakukan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C/C++ (Mukhlis et al., 2023).

B. Variabel Operasional Penelitian

Penelitian ini melibatkan tiga jenis variabel operasional yang didefinisikan sebagai berikut: (1) Variabel Kontrol adalah variabel yang dijaga tetap konstan selama pengambilan data agar tidak mempengaruhi hasil komparasi. Variabel kontrol dalam penelitian ini meliputi lokasi pengambilan data yaitu area Stasiun Meteorologi BMKG Juanda, Sidoarjo; posisi penempatan alat yang berdampingan langsung dengan *pyranometer* BMKG; serta kondisi pengukuran dalam satu sesi waktu yang sama sehingga kedua instrumen menerima paparan radiasi matahari yang identik; (2) Variabel Manipulasi adalah variabel yang sengaja divariasikan untuk mengamati pengaruhnya. Variabel manipulasi dalam penelitian ini adalah waktu pengukuran, yaitu rentang pukul 07.00–12.00 WIB yang merepresentasikan periode aktif radiasi UV dari pagi hingga siang hari dengan interval perekaman data setiap satu menit; (3) Variabel Respon adalah variabel yang diukur sebagai hasil dari perlakuan. Variabel respon dalam penelitian ini meliputi tiga parameter yang diukur secara simultan oleh sistem monitoring, yaitu: intensitas radiasi UV dalam satuan W/m² yang diukur oleh sensor GUVA-S12SD, suhu udara dalam satuan °C yang diukur oleh sensor DHT11 dan kelembaban relatif dalam satuan % RH yang diukur oleh sensor DHT11. Ketiga nilai tersebut dibandingkan terhadap data referensi BMKG untuk dievaluasi tingkat kesesuaiannya.

C. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui dua sumber secara bersamaan pada waktu dan lokasi yang sama. Pertama, data dari sistem monitoring yang dirancang, ESP8266 merekam nilai intensitas UV, suhu, dan

kelembaban setiap satu menit dan menyimpannya secara otomatis ke dalam *micro* SD dalam format CSV (*Comma-Separated Values*). Format CSV dipilih karena bersifat *plain text*, ringan, mudah dibaca, dan kompatibel langsung dengan perangkat lunak pengolah data seperti Microsoft Excel tanpa memerlukan konversi tambahan (Pulungan & Goci, 2021). Data diakses dan diunduh melalui *web server* lokal ESP8266 dengan mengetik alamat IP 192.168.4.1 pada *browser*, tanpa perlu melepas kartu memori dari perangkat.

Data referensi BMKG diperoleh dari dua instrumen standar yang beroperasi di Stasiun Juanda pada periode pengukuran yang sama. Data intensitas radiasi surya global diperoleh dari *pyranometer* BMKG yang merupakan instrumen terstandar WMO (*World Meteorological Organization*). Perlu dicatat bahwa data BMKG merupakan radiasi surya global yang mencakup seluruh spektrum elektromagnetik matahari, bukan hanya komponen UV semata, sehingga analisis komparasi difokuskan pada kesesuaian tren temporal bukan kesamaan nilai absolut. Data suhu dan kelembaban BMKG diperoleh dari termohigrometer standar yang dipasang dalam sangkar meteorologi (*Stevenson screen*). Tiyas et al. (2025) menunjukkan bahwa sensor DHT11 dapat disempurnakan akurasinya dengan pendekatan kalibrasi berbasis IoT hingga margin kesalahan 0,3°C untuk suhu dan 1,5% RH untuk kelembaban, yang menjadi dasar pertimbangan penggunaan sensor ini.



Gambar 3. Pengambilan Data Komparasi Alat dengan *Pyranometer*

D. Teknik Pengolahan Data

Data hasil pengukuran diolah menggunakan dua pendekatan secara berurutan. Pertama, data per menit dirata-rata menjadi nilai per jam menggunakan fungsi AVERAGEIF pada Microsoft Excel untuk menghasilkan 5 titik data representatif (07.00–11.00 WIB) per parameter. Perataan per jam dilakukan untuk mereduksi *noise* dan fluktuasi sesaat yang tidak mencerminkan kondisi umum, serta menghasilkan pasangan data yang lebih stabil untuk analisis komparasi (Tyutyundzhiev et al., 2023).

Kedua, berdasarkan 5 pasangan data per parameter yang merepresentasikan rata-rata per jam dari keseluruhan data per menit yang telah direkam kemudian dilakukan analisis komparasi kuantitatif menggunakan empat metrik evaluasi. Kombinasi keempat metrik ini memberikan gambaran komprehensif tentang akurasi pengukuran dari berbagai perspektif (Hodson, 2022). Persamaan keempat metrik tersebut adalah sebagai berikut.

Mean Absolute Error (MAE), mengukur rata-rata selisih absolut antara nilai alat dan nilai referensi BMKG:

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y_i - \hat{y}_i| \quad (1)$$

Root Mean Square Error (RMSE), mengukur deviasi dengan penalti lebih besar pada *error* ekstrem:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (2)$$

Mean Absolute Percentage Error (MAPE), mengukur persentase *error* yang bebas satuan sehingga memudahkan interpretasi lintas parameter:

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i}\right| \times 100\% \quad (3)$$

Koefisien Determinasi (R^2), mengukur keeratan kesesuaian tren antara data alat dan data referensi:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (4)$$

dengan y_i = nilai referensi BMKG, $\hat{y}_i$ = nilai pengukuran alat, $\bar{y}_i$ = rata-rata nilai referensi BMKG, n = jumlah pasangan data.

Sebagian besar literatur evaluasi sensor berbiaya rendah menggunakan kombinasi R^2 dan RMSE untuk analisis kesalahan pengukuran, serta validasi berdampingan dengan instrumen standar merupakan tahap kritis untuk membangun kepercayaan terhadap sensor berbiaya rendah dalam *monitoring* dunia nyata (Alcalá et al., 2025). Kategori kelayakan berdasarkan nilai MAPE mengacu pada klasifikasi Lewis (1982) sebagaimana tercantum pada **Tabel 2**. Seluruh perhitungan dan visualisasi dilakukan menggunakan Microsoft Excel dalam bentuk *line chart* perbandingan temporal dan *scatter plot* regresi linear untuk setiap parameter (Nugraha & Adriansyah, 2022).

Tabel 1. Kategori Kelayakan Berdasarkan Nilai MAPE (%) (Colin D. Lewis, 1982)

Nilai MAPE	*Kategori*
< 10%	Sangat Baik
10% – 20%	Baik
20% – 50%	Cukup
> 50%	Kurang

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Tabel 2. Hasil Komparasi Intensitas UV Berdasarkan Alat dan BMKG

Jam (WIB)	BMKG (W/m²)	Alat (W/m²)	Selisih (W/m²)	MAPE (%)
07.00	173,282	172,884	0,398	0,230
08.00	320,600	307,451	13,149	4,101
09.00	296,891	314,153	17,262	5,814
10.00	450,505	453,350	2,845	0,632
11.00	486,866	486,540	0,326	0,067

Tabel 3. Hasil Komparasi Suhu Berdasarkan Alat dan BMKG

Jam (WIB)	BMKG (˚C)	Alat (˚C)	Selisih (˚C)	MAPE (%)
07.00	28,059	27,567	0,492	1,754
08.00	29,738	29,467	0,271	0,914
09.00	30,948	30,400	0,548	1,770
10.00	32,054	31,683	0,371	1,156
11.00	32,660	32,037	0,623	1,907

Tabel 4. Hasil Komparasi Kelembaban Berdasarkan Alat dan BMKG

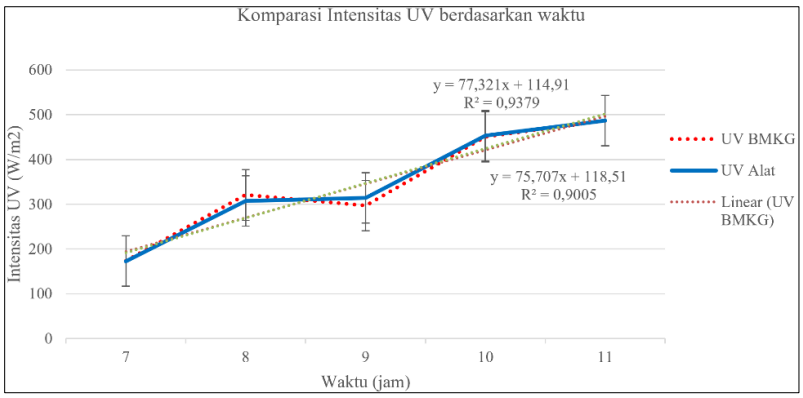
Jam (WIB)	BMKG (%)	Alat (%)	Selisih (%)	MAPE (%)
07.00	82,669	82,817	-0,148	0,179
08.00	82,135	82,000	0,135	0,164
09.00	82,195	82,000	0,195	0,237
10.00	82,255	82,000	0,255	0,310
11.00	82,312	82,000	0,312	0,378

B. Pembahasan

Pengujian sistem *monitoring* berbasis ESP8266 dilakukan di area Stasiun Meteorologi BMKG Juanda, Sidoarjo, dengan menempatkan alat berdampingan langsung dengan *pyranometer* BMKG pada rentang waktu 07.00-12.00 WIB. Data per menit yang direkam sistem kemudian dirata-ratakan per jam untuk memperoleh nilai representatif tiap periode dan dibandingkan terhadap data referensi BMKG menggunakan metrik MAE, RMSE, MAPE, dan R^2. Komparasi dilakukan terhadap tiga parameter sekaligus, yaitu intensitas UV, suhu udara, dan kelembaban relatif.

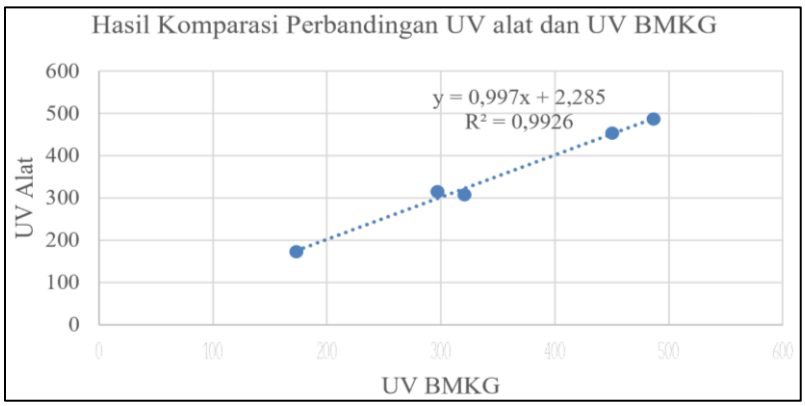
Perlu dijelaskan terlebih dahulu bahwa data radiasi yang diperoleh dari BMKG Stasiun Juanda merupakan radiasi surya global (*global solar radiation*) yang diukur menggunakan *pyranometer* dan mencakup seluruh spektrum elektromagnetik matahari, bukan hanya komponen UV semata. Oleh karena itu, nilai MAPE dan RMSE yang dihitung dalam penelitian ini tidak dimaksudkan sebagai ukuran akurasi sensor UV terhadap instrument BMKG, melainkan sebagai ukuran kesamaan pola dan tren temporal antara intensitas UV yang terukur oleh sensor GUVA-S12SD dengan radiasi surya global BMKG sebagai referensi kondisi penyinaran matahari. Komparasi ini bertujuan mengevaluasi sejauh mana tren perubahan intensitas UV alat selaras dengan tren radiasi matahari yang tercatat oleh instrument standar BMKG pada waktu yang sama.

Berdasarkan Tabel 2, kedua data menunjukkan tren kenaikan yang konsisten dari pukul 07.00 hingga 11.00 WIB, sesuai dengan karakteristik pola diurnal radiasi matahari di wilayah tropis dimana intensitas meningkat seiring bertambahnya elevasi matahari. Nilai MAPE per jam tertinggi terjadi pada pukul 09.00 WIB sebesar 5,814% dan terendah pada pukul 08.00-09.00 WIB diduga berkaitan dengan variabelitas tutupan awan tipis pada rentang waktu tersebut yang mempengaruhi distribusi radiasi secara berbeda antara sensor GUVA-S12SD dan *pyranometer* BMKG.



Gambar 4. Grafik Komparasi Intensitas UV Berdasarkan Waktu

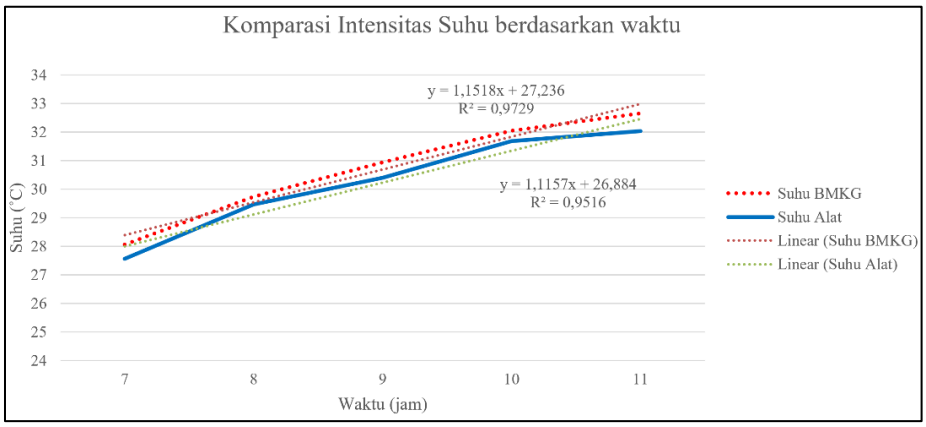
Gambar 4 menampilkan perbandingan tren temporal kedua data. Garis tren linear menghasilkan gradien 77,321 untuk BMKG (R^2 = 0,938) dan 75,707 untuk alat (R^2 = 0,901), dengan selisih gradien hanya 1,614 mengindikasikan bahwa laju kenaikan intensitas per jam antara kedua data hampir identik.



Gambar 5. Scatter Plot UV Alat vs UV BMKG

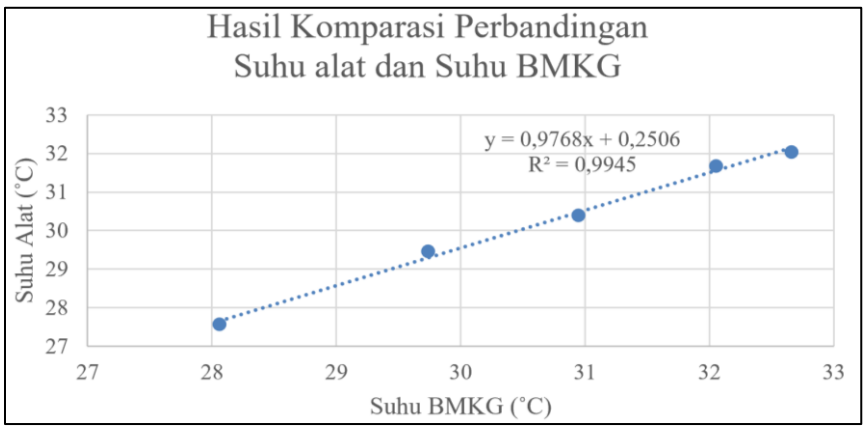
Gambar 5 menampilkan *scatter plot* nilai UV alat (sumbu-Y) terhadap nilai UV BMKG (sumbu-x) dengan persamaan regresi linear: $\hat{y} = 0{,}997x + 2{,}285$ ($R^2 = 0{,}993$). Nilai *slope* 0,997 yang sangat mendekati nilai ideal 1,000 menunjukkan tidak adanya *gain error* yang signifikan pada sistem pengukuran. Nilai *intercept* 2,285 W/m² menunjukkan adanya *offset* tetap yang sangat kecil dibandingkan rentang pengukuran yang mencapai ratusan W/m². Nilai $R^2 = 0{,}993$ mengkonfirmasi bahwa 99,3% variasi data alat dapat dijelaskan oleh variasi data BMKG, sementara nilai MAPE keseluruhan 0,297% berada jauh dibawah ambang kategori "Sangat Baik" (<10%) berdasarkan klasifikasi Lewis (1982).

Hasil komparasi pengukuran suhu udara antara sensor DHT11 dan data BMKG dapat dilihat pada **Tabel 3**.



Gambar 6. Komparasi Suhu Udara Berdasarkan Waktu

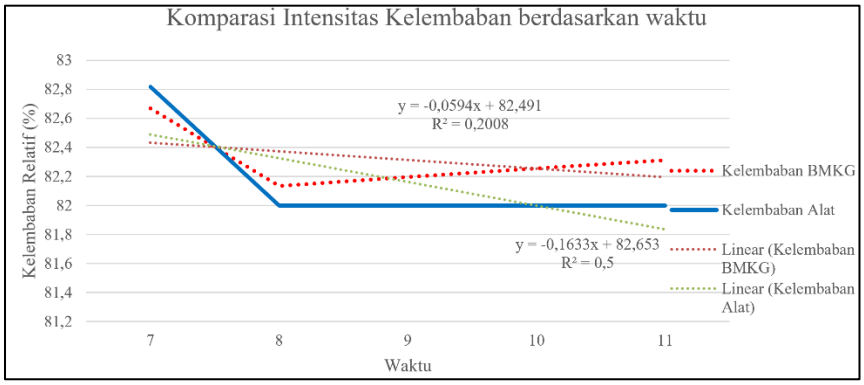
Berbeda dengan parameter UV, suhu udara merupakan besaran yang diukur dalam satuan identik oleh kedua instrument (˚C), sehingga perbandingan nilai absolutnya bersifat langsung. Kedua data menunjukkan tren kenaikan suhu yang konsisten dari 07.00-11.00 WIB, dengan gradien tren 1,1518 (BMKG, $R^2 = 0{,}973$) dan 1,1157 (alat $R^2 = 0{,}952$). Selisih gradien sebesar 0,036˚C per-jam mengindikasikan laju pemanasan yang hampir identik antara kedua instrumen. Alat secara konsisten mencatat suhu lebih rendah 0,271-0,623˚C dibandingkan BMKG, yang masih berada dalam toleransi spesifikasi teknis sensor DHT11 (±2˚C).



Gambar 7. *Scatter Plot* Komparasi Suhu Alat vs Suhu BMKG

Scatter plot pada **Gambar 7** menghasilkan persamaan regresi: $\hat{y} = 0{,}9768x + 0{,}2506$ ($R^2 = 0{,}9945$). Nilai *slope* 0,9768 mengindikasikan *underestimate* sebesar 2,32% yang masih dalam batas toleransi sangat baik. Nilai $R^2 = 0{,}9945$ bahkan lebih tinggi dari parameter UV, mencerminkan sifat suhu udara yang lebih stabil dan tidak berfluktuasi secepat radiasi UV dalam skala menit sehingga nilai rata-rata per jamnya lebih representatif. Nilai MAPE 3,661% mengkategorikan kinerja pengukuran suhu sebagai "Sangat Baik".

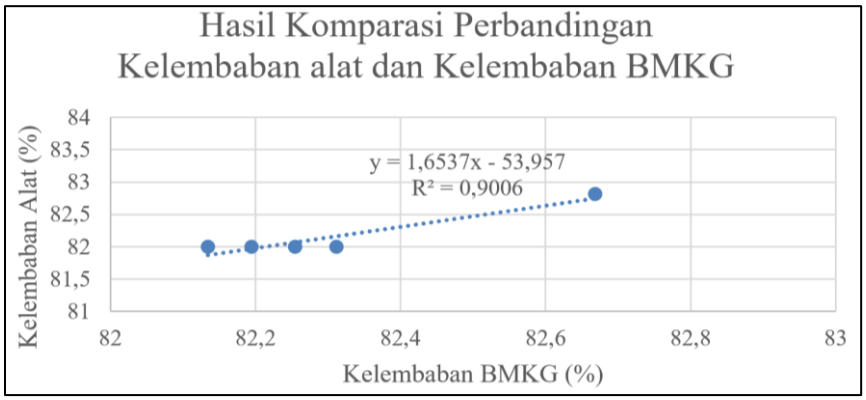
Hasil komparasi pengukuran kelembaban relatif antara sensor DHT11 dan data BMKG disajikan pada **Tabel 4**.



Gambar 8. Komparasi Kelembaban Relatif Berdasarkan Waktu

Berbeda dari UV dan suhu yang menunjukkan tren kenaikan, kelembaban relatif menunjukkan tren penurunan sepanjang rentang pengukuran dengan gradient tren -0,059 (BMKG, R^2 = 0,201) dan -0,163 (alat, R^2 = 0,500). Fenomena ini sesuai dengan hubungan berbanding terbalik antara suhu dan kelembaban relatif, dimana peningkatan suhu sepanjang pagi menyebabkan kapasitas udara menampung uap air meningkat sehingga kelembaban relatifnya menurun.

Nilai R^2 tren BMKG yang hanya 0,201 mengindikasikan bahwa variasi kelembaban diwilayah pesisir Juanda bersifat sangat stabil dan tidak linear sepanjang 07.00-11.00 WIB, dipengaruhi oleh pasokan uap air dari laut yang konsisten. Nilai alat yang terkuantisasi pada 82% mulai pukul 08.00 WIB mencerminkan keterbatasan resolusi DHT11 sebesar 1% RH yang tidak mampu mendeteksi variasi kelembaban sub-persen pada kondisi lingkungan yang sangat homogen.



Gambar 9. *Scatter Plot* Komparasi Kelembaban Alat vs Kelembaban BMKG

Scatter plot pada **Gambar 9** menghasilkan persamaan regresi: $\hat{y} = 1{,}6537x - 53{,}957$ ($R^2 = 0{,}9006$). Nilai *slope* 1,6537 yang menyimpang dari nilai ideal 1,000 tidak mencerminkan akurasi pengukuran yanga bik secara absolut, melainkan merupakan konsekuensi langsung dari keterbatasan resolusi sensor DHT11 sebesar 1% RH, dimana ketika data BMKG berubah dalam rentang sempit (82,1-82,8%), sensor DHT11 hanya mampu membaca nilai diskret 82% akibat kuantisasi resolusi, sehingga menciptakan kemiringan regresi yang tidak proposional. Oleh karena itu, nilai MAPE 0,558% yang rendah tidak dapat dijadikan satu-satunya dasar untuk menyimpulkan kinerja sensor kelembaban sebagai "Sangat Baik", nilai tersebut rendah secara persentase karena nilai kelembaban absolutnya tinggi (≈82%), bukan karena sensor mampu mendeteksi variasi dengan presisi tinggi. Kesesuaian tren yang ditunjukkan oleh R^2 = 0,9006 lebih mencerminkan kesamaan pola penurunan umum daripada ketepatan nilai absolut.

Perlu dicatat bahwa pengujian dalam penelitian ini dilakukan dalam satu sesi pengambilan data pada satu hari pengukuran dengan kondisi cuaca cerah. Generelisasi kinerja alat berdasarkan hasil satu sesi pengukuran memiliki keterbatasan representativitas, sehingga kesimpulan tentang kelayakan alat perlu

dipahami sebagai hasil pada kondisi pengujian tersebut, bukan klaim umum untuk seluruh kondisi cuaca dan lokasi.

IV. PENUTUP

A. Simpulan

Penelitian ini telah berhasil merancang sebuah sistem untuk memantau intensitas radiasi ultraviolet, suhu udara, dan kelembaban relatif berdasarkan mikrokontroler ESP8266 dengan sensor GUVA-S12SD dan DHT11, yang dilengkapi dengan modul RTC DS3231 dan kartu microSD untuk penyimpanan data lokal yang dapat diakses melalui jaringan Wi-Fi. Berdasarkan perbandingan dengan data dari Stasiun Juanda Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) selama periode waktu 07:00–11:59 WIB, disimpulkan hal-hal berikut.

Berdasarkan hasil secara keseluruhan, sistem pemantauan berbasis ESP8266 mencapai nilai MAPE di bawah 5% dan nilai R^2 di atas 0,90 untuk semua parameter. Nilai R^2 tertinggi dicapai untuk parameter suhu (0,9945), diikuti oleh UV (0,993), dan kelembaban (0,9006). Sementara itu, nilai MAPE terkecil diperoleh untuk parameter UV (0,297%), diikuti oleh kelembaban (0,558%), dan suhu (3,661%). Berdasarkan klasifikasi Lewis (1982), ketiga parameter tersebut dikategorikan sebagai "Sangat Baik," yang menunjukkan bahwa sistem *monitoring* yang dirancang menunjukkan potensi untuk digunakan sebagai instrument *monitoring* lapangan pada kondisi pengujian ini, dengan nilai MAPE di bawah 5% dan R^2 di atas 0,90 untuk seluruh parameter. Namun demikian, klaim kelayakan ini perlu dibatasi pada kondisi pengujian yang dilakukan, mengingat komparasi hanya dilakukan dalam satu sesi pengukuran pada kondisi cuaca cerah. Perbedaan absolut yang diamati pada setiap parameter dapat diminimalkan melalui kalibrasi offset pada firmware ESP8266, sedangkan resolusi DHT11 yang terbatas dalam pengukuran kelembaban dapat diatasi dengan mengganti sensor tersebut dengan DHT22 atau SHT31 yang memiliki resolusi 0,1% RH pada penelitian selanjutnya.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan untuk mengganti sensor DHT11 dengan DHT22 atau SHT31 yang memiliki resolusi kelembaban 0,1% RH guna meningkatkan presisi pengukuran kelembaban, serta melakukan kalibrasi *offset* pada *firmware* ESP8266 untuk meminimalkan perbedaan nilai absolut terhadap data BMKG. Untuk penelitian selanjutnya, pengujian sebaiknya dilakukan selama beberapa hari dengan kondisi cuaca yang bervariasi, termasuk kondisi berawan hingga mendung, agar hasil evaluasi kinerja alat lebih representative dan dapat digeneralisasi. Khusus untuk parameter UV, disarankan menggunakan instrument referensi yang secara spesifik mengukur komponen UV (seperti *UV radiometer* atau *spectroradiometer*) yang sebanding dengan sensor GUVA-S12SD, bukan *pyranometer* yang mengukur radiasi surya global, sehingga komparasi dapat dilakukan secara lebih setara dan akurat.

DAFTAR PUSTAKA

Alcalá, J., Juárez, J. A., Cárdenas, V., Charre-Ibarra, S., González-Rivera, J., & Gudiño-Lau, J. (2025). Balancing Cost and Precision: An Experimental Evaluation of Sensors for Monitoring in Electrical Generation Systems. *Sensors*, *25*(22). https://doi.org/10.3390/s25227052

Bajrami, X., & Murturi, I. (2018). An efficient approach to monitoring environmental conditions using a wireless sensor network and NodeMCU. *Elektrotechnik Und Informationstechnik*, *135*(3), 294–301. https://doi.org/10.1007/s00502-018-0612-9

Blas Pérez-Gilaberte, J., Martín-Iranzo, N., Aguilera, J., Almenara-Blasco, M., Victoria De Gálvez, M., & Gilaberte, Y. (2023). *Correlation between UV Index, Temperature and Humidity with Respect to Incidence and Severity of COVID 19 in Spain*. *IJERPH, 20(3), 1973*. https://doi.org/10.3390/ijerph

Colin D. Lewis. (1982). *Industrial and Business Forecasting Methods: A Practical Guide to Exponential Smoothing and Curve Fitting*. London: Butterworth Scientific (Butterworth-Heinemann). ISBN 0-408-00559-9

da Rocha, Á. B., Fernandes, E. de M., Dos Santos, C. A. C., Diniz, J. M. T., & Junior, W. F. A. (2021). Development of a real-time surface solar radiation measurement system based on the internet of things (Iot). *Sensors*, *21*(11). https://doi.org/10.3390/s21113836

Fauziyyah, R. N. P., Komariah, M., & Herliani, Y. K. (2023). Sunlight Exposure and Protection Behavior as Prevention of Skin Cancer in Nursing Students. *Indonesian Journal of Cancer*, *17*(1), 1. https://doi.org/10.33371/ijoc.v17i1.921

Hodson, T. O. (2022). Root-mean-square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): when to use them or not. In *Geoscientific Model Development* (Vol. 15, Number 14, pp. 5481–5487). Copernicus GmbH. https://doi.org/10.5194/gmd-15-5481-2022

Lattanzio, M. S. (2024). An ultraviolet light data logger for studies of organismal ecology and physiology. *Methods in Ecology and Evolution*, *15*(11), 1990–1996. https://doi.org/10.1111/2041-210X.14425

Mukhlis, W., Yohandri, -, Yulkifli, -, & Mairizwan, -. (2023). Smart Garden System Based on Internet of Things using NodeMCU ESP8266. *PILLAR OF PHYSICS*, *16*(2). https://doi.org/10.24036/13455171074

Nugraha, M. R., & Adriansyah, A. (2022). Development of a solar radiation sensor system with pyranometer. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, *12*(2), 1385–1391. https://doi.org/10.11591/ijece.v12i2.pp1385-1391

Pulungan, A. B., & Goci, D. S. (2021). Penggunaan Sistem Data logger Dalam Pencatatan Data Parameter Panel Surya berbasis Mikrokontroler. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, *7*(2), 337. https://doi.org/10.24036/jtev.v7i2.115052

Tiyas, A. W., Erwanto, D., & Yanuartanti, I. (2025). Peningkatan Akurasi Sensor Suhu dan Kelembaban DHT11 dengan Kalibrasi Suhu Berbasis IoT pada Platform Thingspeak. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, *5*(3), 625–633. https://doi.org/10.52436/1.jpti.709

Tyutyundzhiev, N., Angelov, C., Arsov, T., Lovchinov, K., Nitchev, H., Mutafov, A., & Alexieva, G. (2023). Remote datalogging of solar UV irradiation using open-source ESP32 platform and MQTT protocol. *Journal of Physics: Conference Series*, *2436*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/2436/1/012003

WHO. (2022, June 21). *Ultraviolet Radiation*. World Health Organization, Geneva.