

SISTEM MONITORING CUACA MULTI-NODE BERBASIS IOT PADA APLIKASI MOBILE

Bagus Adhi Kusuma, S.T., M.Eng.¹, Mochammad Rizqi Fadli Assafi²,

¹Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer Universitas Amikom Purwokerto, Indonesia

² Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer Universitas Amikom Purwokerto, Indonesia

Info Artikel

Riwayat Artikel:

Diterima 15, oktober, 2025

Perbaikan 22, desember, 2025

Disetujui 13, oktober, 2026

Keywords:

IoT

Monitoring

Cuaca

Sensor

Firebase

Flutter

Multi-node

ABSTRAK

Pemantauan kondisi cuaca secara *real-time* telah menjadi kebutuhan esensial dalam mendukung berbagai kegiatan masyarakat, khususnya pada bidang-bidang yang peka terhadap fluktuasi cuaca seperti pertanian, pengurangan risiko bencana, transportasi, serta aktivitas di luar ruangan. Penelitian ini merancang sistem pemantauan cuaca berbasis Internet of Things (IoT) dengan pendekatan multi-node guna mendapatkan gambaran kondisi lingkungan yang lebih presisi di suatu wilayah observasi. Sistem yang dikembangkan terdiri dari tiga node IoT berbasis Wemos D1 Mini yang dilengkapi sensor DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembapan, BMP280 untuk tekanan atmosfer, LDR untuk intensitas cahaya, serta sensor hujan. Seluruh data dikirimkan ke Firebase Realtime Database sebagai repositori utama, sementara modul MicroSD berfungsi sebagai penyimpanan cadangan apabila koneksi jaringan mengalami gangguan. Aplikasi seluler berbasis Flutter dikembangkan untuk menyajikan data pemantauan dalam format numerik maupun grafik historis dari masing-masing node. Hasil uji coba menunjukkan bahwa sistem beroperasi dengan stabil pada interval pengiriman 1–5 menit dan mampu menghasilkan data yang seragam antar node. Sistem ini menawarkan solusi pemantauan cuaca yang handal, mudah dijangkau, serta memiliki potensi untuk dikembangkan guna keperluan analisis lebih mendalam.

ABSTRACT

Real-time weather monitoring has become an essential requirement for supporting various community activities, particularly in areas sensitive to weather fluctuations such as agriculture, disaster risk reduction, transportation, and outdoor activities. This study designs an Internet of Things (IoT)-based weather monitoring system with a multi-node approach to obtain a more precise picture of environmental conditions in an observation area. The developed system consists of three Wemos D1 Mini-based IoT nodes equipped with DHT11 sensors for temperature and humidity measurements, BMP280 for atmospheric pressure, LDR for light intensity, and a rain sensor. All data is sent to the Firebase Realtime Database as the main repository, while a MicroSD module serves as backup storage in case of network connection disruptions. A Flutter-based mobile application was developed to present monitoring data in both numerical and historical graphic formats from each node. Test results show that the system operates stably at 1–5 minute transmission intervals and is capable of producing uniform data across nodes. This system offers a reliable, accessible weather monitoring solution and has the potential to be developed for more in-depth analysis purposes.

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi CC BY-SA.



Penulis Korespondensi:

Bagus Adhi Kusuma, S.T., M.Eng.

Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Amikom Purwokerto

Alamat: Jl. Letjend Pol. Soemarto No.127, Kecamatan Purwokerto Utara, Kabupaten Banyumas, Indonesia

Email: bagus@amikompurwokerto.ac.id

1. PENDAHULUAN

Informasi tentang cuaca yang tepat, terbaru, dan dapat diakses secara langsung memiliki peranan penting dalam berbagai aspek kehidupan modern. Di sektor pertanian, kondisi lingkungan seperti suhu, kelembapan, jumlah curah hujan, intensitas cahaya, dan tekanan udara langsung mempengaruhi perkembangan tanaman serta proses agronomi lainnya[1], [2]. Dengan adanya informasi yang tepat waktu, keputusan berbasis data bisa diambil, termasuk penjadwalan pola tanam, pengaturan irigasi, dan pengurangan risiko dari hama dan penyakit. Pemanfaatan Internet of Things (IoT) dalam sistem pemantauan lingkungan membantu menghasilkan pengukuran yang berkelanjutan, standar, dan lebih dapat dipercaya[3], [4].

Dalam hal mitigasi bencana, data cuaca setempat berfungsi sebagai sinyal awal terhadap kemungkinan kejadian ekstrem seperti angin kencang, banjir, atau fenomena atmosfer lainnya yang penting[5]. Namun, stasiun cuaca tradisional sering memiliki jangkauan yang luas dan tidak bisa menggambarkan perubahan iklim dengan baik. Berbagai studi menunjukkan bahwa penggunaan sensor lokal dan jaringan sensor tanpa kabel dapat meningkatkan ketepatan pemantauan atmosfer, terutama di daerah tropis yang memiliki cuaca cepat dan tidak stabil[6], [7]. Penting juga untuk menghubungkan data meteorologi dengan kualitas udara guna mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam tentang kondisi lingkungan[8].

Meskipun sistem pemantauan cuaca berbasis IoT telah banyak dikembangkan, sebagian besar aplikasi masih terbatas pada satu titik pengukuran atau hanya memantau beberapa parameter lingkungan. Pendekatan berbasis infrastruktur kota pintar tidak selalu memberikan gambaran akurat tentang kondisi iklim di lokasi tertentu[9]. Menggabungkan sensor cuaca dan polusi udara secara real-time berpotensi besar, namun masih menghadapi tantangan teknis seperti penggunaan daya yang tinggi, kestabilan koneksi, dan ketidakcocokan data lokal dengan informasi online yang digunakan dalam analisis lingkungan[10], [11].

Kemajuan teknologi perangkat dengan daya rendah telah mendorong terciptanya solusi IoT yang lebih biaya efektif dan dapat mengukur berbagai parameter sekaligus[12], [13]. Penerapan sistem pemantauan di daerah perkotaan dan pedesaan, termasuk stasiun cuaca yang berbasis ESP32, terus meningkat sesuai dengan ketepatan, keandalan, dan efisiensi[14], [15]. Penelitian mengenai penggunaan beberapa unit pemantauan dalam satu jaringan IoT menunjukkan bahwa struktur multi-node dapat memperluas area pengamatan tanpa membuat sistem menjadi lebih rumit[16].

Di sisi lain, kerangka evaluasi dan metode untuk memastikan kinerja berkelanjutan dari sistem pemantauan lingkungan yang berbasis IoT terus dikembangkan, terutama untuk daerah dengan karakteristik geografis tertentu seperti kawasan pesisir[17]. Penggunaan jaringan sensor dengan daya rendah dalam sistem pemantauan otonom juga menunjukkan pentingnya struktur multi-node yang hemat energi, responsif, dan mampu berfungsi dalam waktu yang lama[18], [19].

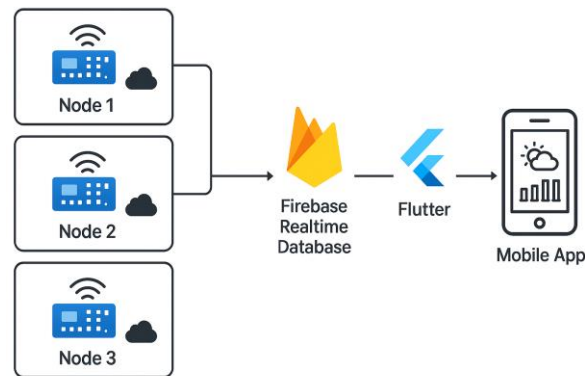
Berdasarkan kemajuan ini, ada permintaan untuk sistem pemantauan cuaca multi-node yang dapat memantau area yang lebih luas, menjelaskan variasi iklim dengan lebih baik, dan berfungsi secara mandiri di setiap node, tetapi tetap terhubung dalam satu platform pusat[20], [21]. Di samping itu, diperlukan mekanisme penyimpanan cadangan agar data tetap berlanjut ketika koneksi jaringan terganggu[22].

Untuk memenuhi kebutuhan ini, penelitian ini menciptakan sistem pemantauan cuaca menggunakan IoT dengan tiga node pengukuran yang ditempatkan di lokasi yang berbeda. Setiap node bertugas untuk mengukur parameter lingkungan utama dan mengirimkan data ke Firebase Realtime Database yang berfungsi sebagai pusat repositori. Sistem ini juga dilengkapi dengan mekanisme backup menggunakan MicroSD dan aplikasi mobile yang dibangun dengan Flutter yang menawarkan visualisasi data secara real-time dan historis. Diharapkan pendekatan ini dapat menghasilkan sistem pemantauan cuaca kecil yang lebih tepat, tahan terhadap gangguan koneksi, dan mudah diakses untuk berbagai tujuan pemantauan lingkungan.

2. METODE

2.1 Arsitektur Sistem

Sistem pemantauan cuaca terdiri dari tiga node *IoT* yang ditempatkan di lokasi berbeda guna memperoleh data yang lebih representatif. Setiap node menggunakan *Wemos D1 Mini* sebagai mikrokontroler utama dikarenakan ukurannya yang kompak, konsumsi daya yang rendah, serta kemampuan konektivitas *Wi-Fi* yang stabil. Node dilengkapi dengan beberapa sensor, yaitu *DHT11* sebagai sensor suhu dan kelembapan, *BMP280* sebagai sensor tekanan udara, *LDR* untuk mengukur intensitas cahaya, dan sensor hujan berbasis resistansi untuk mendeteksi keberadaan air pada permukaan sensor.



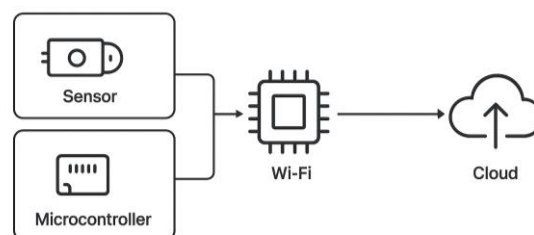
Gambar 1. Arsitektur Sistem

Setiap node beroperasi secara mandiri namun terintegrasi dalam sistem terpusat melalui *Firebase Realtime Database*. Pengiriman data dilakukan dengan menggunakan protokol *HTTP* atau *REST API*. *Firebase* dipilih karena mendukung sinkronisasi real-time, struktur data yang fleksibel, serta kemudahan integrasi dengan aplikasi mobile. Arsitektur ini memungkinkan setiap node untuk mentransmisikan data secara langsung tanpa memerlukan server lokal tambahan.

2.2 Akuisisi dan Pengiriman Data

Setiap node membaca nilai sensor secara berkala dalam interval 1 hingga 5 menit, sesuai dengan persyaratan pemantauan. Data selanjutnya dikemas dalam format JSON yang mencakup parameter seperti suhu, kelembapan, tekanan udara, intensitas cahaya, status hujan, serta timestamp.

Demi menjamin keandalan data, diterapkan mekanisme penyimpanan cadangan dengan menggunakan modul MicroSD. Apabila koneksi Wi-Fi terganggu atau *Firebase* tidak tersedia, data akan disimpan sementara di MicroSD. Saat koneksi kembali stabil, simpul akan mengirim ulang semua data yang tertunda. Strategi ini memastikan tidak adanya kehilangan data bahkan dalam kondisi gangguan jaringan.



Gambar 2. Akuisisi dan Pengiriman Data

2.3 Pengembangan Aplikasi Mobile

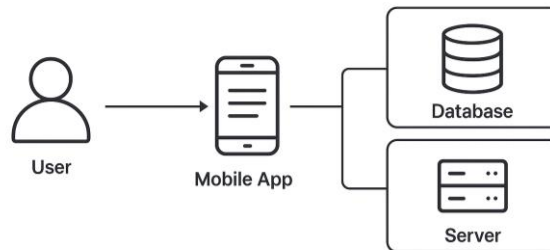
Aplikasi mobile dikembangkan dengan memanfaatkan kerangka kerja Flutter karena memiliki performa tinggi, tampilan antarmuka yang responsif, serta dukungan lintas platform (Android). Aplikasi ini berfungsi sebagai media visualisasi data bagi pengguna untuk memantau kondisi cuaca dari ketiga *node* secara *real-time* maupun historis.

Fitur utama aplikasi meliputi:

1. Menampilkan data sensor secara *real-time*. Setiap nilai sensor diperbarui langsung dari *Firebase Realtime Database*, sehingga pengguna dapat memantau perubahan kondisi cuaca dengan jeda minimal.
2. Menampilkan grafik historis. Data historis disajikan dalam bentuk grafik garis (*time series*) untuk parameter suhu, kelembapan, tekanan udara, dan intensitas cahaya.

3. Perbandingan data antar node. Aplikasi menyediakan tampilan untuk melihat perbedaan kondisi cuaca di tiga lokasi sekaligus.

Antarmuka aplikasi dirancang dengan prinsip sederhana, minimalis, dan informatif. Tampilan memanfaatkan *card view* untuk menampilkan data setiap node, sementara skema warna dan ikon dirancang secara konsisten guna meningkatkan keterbacaan dan pengalaman pengguna.



Gambar 3. Aplikasi Mobile

2.4 Pengujian Sistem

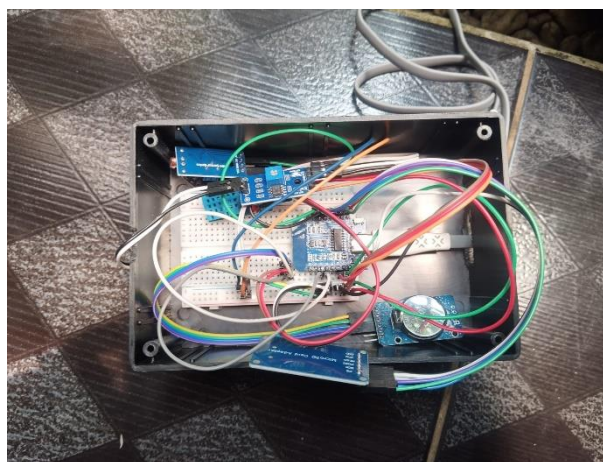
Uji coba dilakukan untuk memastikan semua bagian dari sistem bekerja sesuai dengan fungsinya. Fokus dari pengujian adalah pada hal-hal berikut:

1. Stabilitas pembacaan sensor
Memastikan bahwa nilai-nilai sensor tidak berubah secara tidak normal.
2. Konsistensi data antar node
Memastikan bahwa variasi nilai sesuai dengan keadaan lingkungan di setiap lokasi.
3. Stabilitas pengiriman data ke Firebase
Node diuji di berbagai kondisi jaringan untuk mengevaluasi kemampuannya dalam menjaga koneksi.
4. Kinerja aplikasi mobile
Diuji pada beberapa perangkat untuk memastikan aplikasi tetap responsif dan cepat dalam menampilkan data dari Firebase.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Implementasi Sistem

Implementasi sistem pemantauan cuaca *multi-node* menunjukkan bahwa semua komponen yang dibuat dapat berfungsi dengan baik. Ketiga node IoT yang diletakkan di tempat yang berbeda berhasil melakukan pengambilan data sensor dengan konsisten dan tepat. Masing-masing node dapat mengukur suhu, kelembapan, cahaya, tekanan udara, serta kondisi hujan tanpa adanya variasi yang tidak normal.



Gambar 4. Perangkat IoT

Perbedaan nilai sensor antara node tampak wajar dan sesuai dengan karakteristik lingkungan di setiap lokasi. Sebagai contoh, node yang berada di area terbuka menunjukkan variasi cahaya yang lebih besar, sementara node di kawasan kampus menunjukkan kelembapan yang lebih stabil. Keberhasilan ini

mengindikasikan bahwa sistem mampu merekam kondisi iklim dengan lebih baik dibandingkan dengan stasiun tunggal.

Di samping itu, mekanisme penyimpanan cadangan menggunakan MicroSD terbukti berfungsi dengan efektif. Dalam beberapa situasi simulasi terputusnya koneksi Wi-Fi, node tetap dapat mencatat data tanpa kehilangan informasi. Ketika jaringan berfungsi kembali, data cadangan berhasil dikirimkan secara otomatis ke Firebase *Realtime Database*, sehingga integritas data tetap terjaga.

3.2 Stabilitas Pengiriman Data Menggunakan Firebase

Pengujian kestabilan pengiriman data dilakukan dengan memantau performa konektivitas node saat mentransfer data ke Firebase pada interval tertentu. Firebase dipilih karena fitur sinkronisasi real-time yang ditawarkannya, struktur data yang fleksibel, serta latensi rendah yang memenuhi kebutuhan sistem.

Dari hasil pengujian, ketiga node berhasil mengirimkan data secara terus-menerus tanpa adanya masalah pada proses pembaruan data di Firebase. Semua data sensor disimpan dalam format JSON yang sesuai dengan struktur yang telah ditentukan dan dapat diakses langsung oleh aplikasi mobile.

Ketika jaringan berada dalam kondisi stabil, proses pengiriman data hampir tidak mengalami jeda. Namun, dalam kondisi jaringan yang lemah atau tidak stabil, mekanisme retry pada mikrokontroler dan penyimpanan sementara di MicroSD memastikan bahwa tidak ada data yang hilang. Hal ini menunjukkan bahwa arsitektur sistem yang menggabungkan pengiriman langsung ke Firebase dengan penyimpanan lokal adalah kuat dan cocok untuk pemantauan jangka panjang.

3.3 Pengujian Aplikasi Mobile

Pengujian aplikasi mobile berfokus pada kinerja antarmuka, kecepatan respons, dan kemampuan aplikasi untuk menyajikan data sensor baik secara *real-time* maupun historis. Hasil dari pengujian ini menunjukkan beberapa hal penting sebagai berikut:

1. **Stabilitas Pembaruan Data *Real-time***
Aplikasi ini dapat menampilkan nilai sensor dari setiap node secara langsung tanpa ada jeda yang signifikan. Waktu yang tertera pada setiap kartu berubah mengikuti data terbaru dari Firebase, menunjukkan bahwa proses sinkronisasi dilakukan dengan baik.
2. **Grafik Historis yang Akurat dan Informatif**
Aplikasi ini menyediakan grafik garis untuk parameter suhu, kelembapan, dan tekanan udara. Grafik ini mampu menunjukkan data dari tiga node sekaligus, memudahkan pengguna dalam mengevaluasi perbedaan kondisi di berbagai lokasi. Grafik juga responsif terhadap perubahan data dan memiliki tingkat keterbacaan yang tinggi, seperti yang terlihat pada gambar yang ditampilkan oleh pengguna.
3. **Dashboard yang Jelas dan Mudah Dimengerti**
Informasi cuaca ditampilkan menggunakan format kartu yang berisi data lengkap: suhu, kelembapan, kondisi hujan, tingkat cahaya, tekanan udara, serta waktu terakhir pembaruan. Dengan format ini, pengguna dapat dengan cepat memahami kondisi cuaca tanpa harus membuka halaman yang berbeda.
4. **Antarmuka yang Sederhana dan Intuitif**

Desain antarmuka pengguna mengadopsi tata letak minimalis dengan skema warna lembut sehingga nyaman untuk dilihat. Ikon parameter cuaca dan tipografi yang seragam membuat aplikasi ini mudah digunakan oleh siapa saja, termasuk mereka yang tidak memiliki pengalaman teknis.



Gambar 5. Tampilan Mobile Aplikasi Monitoring Cuaca: (a) Ringkasan Data; (b) Grafik Suhu dan Kelembapan; (c) Grafik Kelembapan dan Tekanan

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa aplikasi mobile mampu berfungsi sebagai media visualisasi data yang efektif dalam sistem monitoring cuaca *multi-node*. Pengguna dapat melakukan pemantauan kondisi cuaca secara cepat, akurat, dan *real-time*, sehingga aplikasi layak digunakan untuk kebutuhan pemantauan lingkungan maupun penunjang pengambilan keputusan berbasis data cuaca.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menciptakan sistem pemantauan cuaca *multi-node* yang berbasis *Internet of Things*. Sistem ini mampu untuk mengumpulkan, menyimpan, dan mempresentasikan data cuaca dalam waktu nyata. Dengan adanya tiga node, area observasi menjadi lebih luas dan representatif, sehingga informasi lingkungan yang didapat lebih tepat. Penyatuan *Firestore Realtime Database* dengan aplikasi mobile menggunakan Flutter menunjukkan kemudahan dalam sinkronisasi data, visualisasi, serta pemantauan kondisi cuaca secara langsung.

Secara keseluruhan, sistem ini beroperasi dengan stabil dari pengambilan data sensor hingga pengiriman data ke cloud dan penyampaian informasi kepada pengguna. Konsep backup menggunakan MicroSD juga membantu meningkatkan keandalan sistem saat jaringan tidak stabil.

Pengembangan berikutnya dapat meliputi peningkatan akurasi sensor dengan model yang lebih tepat, penambahan jumlah node untuk memperluas area pemantauan, serta integrasi analisis cuaca jangka panjang seperti peramalan tren perubahan suhu, kelembapan, atau intensitas cahaya dengan menggunakan teknik pembelajaran mesin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan selama proses penelitian ini, mulai dari penyediaan perangkat keras, bantuan teknis pada tahap pengembangan sistem,

hingga pendampingan dalam proses pengujian. Kontribusi dan dukungan tersebut sangat membantu dalam menyelesaikan penelitian ini dengan baik.

REFERENSI

- [1] A. K. Hassan, M. S. Saraya, A. M. T. Ali-Eldin, and M. M. Abdelsalam, "Low-Cost IoT Air Quality Monitoring Station Using Cloud Platform and Blockchain Technology," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 13, p. 5774, Jul. 2024, doi: 10.3390/app14135774.
- [2] Kurnia Mustika Wati, "Cyber Physical System For Automated Weather Station And Agriculture Node In Smart Farming," *Globe: Publikasi Ilmu Teknik, Teknologi Kebumihan, Ilmu Perkapalan*, vol. 2, no. 1, pp. 13–27, Jan. 2024, doi: 10.61132/globe.v2i1.90.
- [3] C. M. Al Kalaany, H. N. Kimaita, A. A. Abdelmoneim, R. Khadra, B. Derardja, and G. Dragonetti, "The Potential of Low-Cost IoT-Enabled Agrometeorological Stations: A Systematic Review," *Sensors*, vol. 25, no. 19, p. 6020, Oct. 2025, doi: 10.3390/s25196020.
- [4] G. Coulby, A. K. Clear, O. Jones, and A. Godfrey, "Low-cost, multimodal environmental monitoring based on the Internet of Things," *Build Environ*, vol. 203, p. 108014, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.buildenv.2021.108014.
- [5] R. Perkasa, R. Wahyuni, R. Melyanti, H. Herianto, and Y. Irawan, "Light Control Using Human Body Temperature Based on Arduino Uno and PIR (Passive Infrared Receiver) Sensor," *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 2, no. 4, 2021, doi: 10.18196/jrc.2497.
- [6] J. S. Botero-Valencia, M. Mejia-Herrera, and J. M. Pearce, "Low cost climate station for smart agriculture applications with photovoltaic energy and wireless communication," *HardwareX*, vol. 11, p. e00296, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.ohx.2022.e00296.
- [7] P. Ramesh, N. Vidhya, P. T. V Bhuvaneswari, and S. Parveen, "I-SOEWM: IoT Based Solar Energized Weather Monitoring System," *Indian J Sci Technol*, vol. 16, no. 20, pp. 1505–1515, May 2023, doi: 10.17485/IJST/v16i20.287.
- [8] G. Abdurrazzaq, D. Latika Herda, and P. Negeri Padang, "IMPLEMENTATION OF THE INTERNET OF THINGS (IOT) ON AN AUTOMATIC WEATHER STATION (AWS) WEATHER MONITORING TOOL TO SUPPORT FISHERMAN ACTIVITIES ON THE COAST," 2024.
- [9] T. Kozłowski, O. Noran, and J. Trevathan, "Designing an Evaluation Framework for IoT Environmental Monitoring Systems," *Procedia Comput Sci*, vol. 219, pp. 220–227, 2023, doi: 10.1016/j.procs.2023.01.284.
- [10] Widayanti and A. Fajarrohman, "Design and Implementation of a Weather Monitoring System Base on IoT Blynk Display and Solar Panel," *Sunan Kalijaga Journal of Physics*, vol. 6, no. 2, pp. 47–52, Nov. 2024, doi: 10.14421/physics.v6i2.5209.
- [11] J. Waworundeng, "IoT-based Environmental Monitoring with Data Analysis of Temperature, Humidity, and Air Quality," *CogITO Smart Journal*, vol. 10, no. 1, pp. 271–284, Jun. 2024, doi: 10.31154/cogito.v10i1.708.692-705.
- [12] T. Toullier and J. Dumoulin, "Comparison of Local Weather Sensors Use versus Online Data for Outdoor Monitoring Correction," in *The 17th International Workshop on Advanced Infrared Technology and Applications*, Basel Switzerland: MDPI, Nov. 2023, p. 35. doi: 10.3390/engproc2023051035.
- [13] P. Megantoro, B. A. Pramudita, P. Vigneshwaran, A. Yurianta, and H. A. Winarno, "Real-time monitoring system for weather and air pollutant measurement with html-based ui application," *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 10, no. 3, pp. 1669–1677, Jun. 2021, doi: 10.11591/eei.v10i3.3030.
- [14] J. Ostrometzky and H. Messer, "Opportunistic Weather Sensing by Smart City Wireless Communication Networks," *Sensors*, vol. 24, no. 24, p. 7901, Dec. 2024, doi: 10.3390/s24247901.
- [15] A. Zafra-Pérez, J. Medina-García, C. Boente, J. A. Gómez-Galán, A. Sánchez de la Campa, and J. D. de la Rosa, "Designing a low-cost wireless sensor network for particulate matter monitoring: Implementation, calibration, and field-test," *Atmos Pollut Res*, vol. 15, no. 9, p. 102208, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.apr.2024.102208.
- [16] R. M. Woo-García *et al.*, "Implementation of a Wireless Sensor Network for Environmental Measurements," *Technologies (Basel)*, vol. 12, no. 3, p. 41, Mar. 2024, doi: 10.3390/technologies12030041.
- [17] M. Fahim, A. El Mhouti, T. Boudaa, and A. Jakimi, "Modeling and implementation of a low-cost IoT-smart weather monitoring station and air quality assessment based on fuzzy inference model and MQTT protocol," *Model Earth Syst Environ*, vol. 9, no. 4, pp. 4085–4102, Nov. 2023, doi: 10.1007/s40808-023-01701-w.

-
- [18] D. Kairuz-Cabrera, V. Hernandez-Rodriguez, O. Schalm, A. Martinez, P. M. Laso, and D. Alejo-Sánchez, "Development of a Unified IoT Platform for Assessing Meteorological and Air Quality Data in a Tropical Environment," *Sensors*, vol. 24, no. 9, p. 2729, Apr. 2024, doi: 10.3390/s24092729.
- [19] Ş. M. Kaya, B. İşler, A. M. Abu-Mahfouz, J. Rasheed, and A. AlShammari, "An Intelligent Anomaly Detection Approach for Accurate and Reliable Weather Forecasting at IoT Edges: A Case Study," *Sensors*, vol. 23, no. 5, p. 2426, Feb. 2023, doi: 10.3390/s23052426.
- [20] A. Albuali, R. Srinivasagan, A. Aljughaiman, and F. Alderazi, "Scalable Lightweight IoT-Based Smart Weather Measurement System," *Sensors*, vol. 23, no. 12, p. 5569, Jun. 2023, doi: 10.3390/s23125569.
- [21] P. Megantoro, S. A. Aldhama, G. S. Prihandana, and P. Vigneshwaran, "IoT-based weather station with air quality measurement using ESP32 for environmental aerial condition study," *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, vol. 19, no. 4, p. 1316, Aug. 2021, doi: 10.12928/telkomnika.v19i4.18990.
- [22] K. Ioannou, D. Karampatzakis, P. Amanatidis, V. Aggelopoulos, and I. Karmiris, "Low-Cost Automatic Weather Stations in the Internet of Things," *Information*, vol. 12, no. 4, p. 146, Mar. 2021, doi: 10.3390/info12040146.