

RANCANG BANGUN ALAT PREDIKSI CUACA MIKRO WILAYAH SEKITAR DESA GADOBANGKONG DENGAN NODEMCU ESP32

Sahrul Saripudin¹, Yurika²

^{1,2} Program Studi Teknik Elektronika – Politeknik TEDC Bandung

Jl. Politeknik-Pesantren KM2 Cibabat Cimahi Utara – Cimahi, Jawa Barat, Indonesia

Sahrulsaripudin26@gmail.com, yurika@poltektedc.ac.id.

Correspondent Email: yurika@poltektedc.ac.id.

Abstrak — Cuaca mikro memiliki karakteristik lokal yang dapat berbeda dari kondisi cuaca pada skala wilayah, sehingga informasi prakiraan cuaca regional belum tentu merepresentasikan kondisi atmosfer pada lokasi tertentu. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun alat prediksi cuaca mikro di sekitar Desa Gadobangkong berbasis Internet of Things (IoT) dan Artificial Intelligence (AI) menggunakan NodeMCU ESP32 sebagai unit akuisisi data, dengan sensor BME280 untuk suhu, kelembapan, dan tekanan udara, sensor hujan, serta sensor LDR untuk intensitas cahaya. Data sensor dikirimkan ke server berbasis Python (Flask) dan diproses menggunakan model Artificial Neural Network (ANN) jenis Multi-Layer Perceptron (MLP) dengan rekayasa fitur berbasis deret waktu untuk menghasilkan prediksi kondisi cuaca pada lima horizon waktu (1 jam hingga 1 hari). Sistem dilengkapi catu daya mandiri berupa panel surya 60 Wp, Solar Charge Controller (SCC) PWM 10 A, dan aki 12 V 8 Ah, serta menyajikan hasil monitoring dan prediksi melalui antarmuka web dan respons suara (text-to-speech). Hasil pengujian menunjukkan sensor BME280 akurat pada malam hari namun menyimpang pada siang hari akibat paparan sinar matahari langsung, sensor LDR menunjukkan kesesuaian 75% terhadap literatur, dan sensor hujan menunjukkan kesesuaian 100% terhadap pengamatan langsung. Evaluasi model AI menunjukkan akurasi keseluruhan sebesar 32,07%, yang diduga disebabkan oleh inkonsistensi pelabelan kondisi cuaca pada data historis. Penelitian ini berhasil menghasilkan alat monitoring real-time, meskipun kualitas data pelatihan masih perlu ditingkatkan.

Kata Kunci — Internet of Things, NodeMCU ESP32, Artificial Neural Network, prediksi cuaca mikro, Desa Gadobangkong.

I. PENDAHULUAN

Perubahan iklim global dalam beberapa dekade terakhir telah memicu anomali dan ketidakstabilan pola cuaca yang berdampak luas pada berbagai aktivitas harian manusia [1]. Dinamika atmosfer pada tingkat iklim mikro memiliki karakteristik fluktuasi yang jauh lebih dinamis dibandingkan skala iklim makro suatu wilayah [2],[3]. Keterbatasan resolusi spasial pada stasiun pengamatan regional mengakibatkan informasi cuaca publik sering kali kurang representatif untuk kondisi aktual di lokasi spesifik dalam rentang waktu singkat [4]. Oleh karena itu, diperlukan sebuah sistem pemantauan lingkungan mikro secara langsung di lokasi pengguna.

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan perangkat sensor melakukan pengukuran, pertukaran, dan penyampaian data secara otomatis melalui jaringan komunikasi [5],[6]. Dalam bidang meteorologi, pengamatan permukaan merupakan salah satu sumber penting dalam penyediaan informasi cuaca dan lingkungan [7], dan perkembangan teknologi stasiun cuaca berbasis sensor memungkinkan pengukuran kondisi atmosfer dilakukan secara otomatis pada lokasi tertentu.

Mikrokontroler ESP32 dapat dimanfaatkan sebagai unit akuisisi data untuk membaca parameter lingkungan dari

berbagai sensor [8],[9]. Pemanfaatan modul ini sangat efektif untuk sistem cerdas dan IoT berdasarkan berbagai rujukan teknis pengembangan mikrokontroler [10]. Pada penelitian ini, parameter yang diamati meliputi suhu, kelembapan, tekanan udara, intensitas cahaya, dan kondisi hujan. Data hasil pengukuran dikirimkan ke web server lokal untuk disimpan, ditampilkan, dan digunakan sebagai data masukan proses analisis. Agar perangkat dapat digunakan secara mandiri di luar ruangan, sistem dilengkapi sumber energi surya sebagai catu daya [11].

Selain pemantauan langsung, perkembangan Artificial Intelligence (AI) memberikan peluang untuk menganalisis data meteorologi dalam jumlah besar dan mengenali pola pada data historis [12]. Salah satu pendekatan AI yang dapat digunakan untuk prediksi berdasarkan data historis adalah Artificial Neural Network (ANN), yang memiliki kemampuan mempelajari hubungan nonlinier antara data masukan dan keluaran sehingga dapat diterapkan pada permasalahan prediksi parameter atmosfer [13], [14].

Dalam penelitian ini, model ANN jenis MLP digunakan untuk mempelajari pola perubahan data sensor berbasis deret waktu (time-series) dan menghasilkan prediksi kondisi cuaca pada lima horizon waktu [15]. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun alat prediksi cuaca mikro wilayah sekitar Desa Gadobangkong berbasis IoT dan AI

dengan NodeMCU ESP32. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan proses akuisisi data sensor, pengiriman dan penyimpanan data, analisis menggunakan ANN-MLP, serta penyajian informasi melalui antarmuka web dan fitur suara.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka ini membahas karya-karya terdahulu yang relevan dengan sistem pemantauan dan prediksi cuaca berbasis IoT dan machine learning. Penelitian terdahulu [11] mengembangkan alat pemantauan cuaca self-sustain berbasis IoT menggunakan ESP32 dan panel surya, namun belum mengintegrasikan model machine learning untuk prediksi.

Penelitian lain [16] mengimplementasikan algoritma ANN untuk memprediksi cuaca harian berdasarkan suhu dan kelembapan, namun hanya menggunakan dua parameter input dan tidak terhubung IoT real-time. Pendekatan lain [17] merancang sistem Edge AI berbasis ESP32-S3 dengan model Long Short-Term Memory (LSTM) (TinyML) yang memproses data lokal di perangkat, sementara penelitian [18] menggunakan prediksi curah hujan regresi tanpa keluaran suara interaktif.

Tabel 1 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti (Tahun)	Fokus Penelitian	Metode/Teknologi	Perbedaan dengan Penelitian Ini
1	Oni Yuliani, dkk. (2025) [11]	Alat pemantauan cuaca self-sustain berbasis IoT	ESP32 + sensor lingkungan + panel surya (tanpa AI)	Fokus catu daya mandiri, tanpa model AI untuk prediksi
2	Hafidz Al Fadil, dkk. (2026) [16]	Prediksi cuaca harian berbasis suhu & kelembapan	ANN sederhana, 2 parameter input	Prediksi harian, tidak terhubung IoT real-time
3	Kelvin Riyanto & Suryantara (2026) [17]	Prediksi iklim mikro real-time menggunakan TinyML	ESP32-S3 + LSTM, edge inference	Model dijalankan di edge (on-device), bukan di server
4	Yudistira & Ikhsan (2025) [18]	Pemantauan cuaca & prediksi curah hujan LSTM	ESP32 + LSTM, output regresi	Prediksi regresi curah hujan, tanpa keluaran suara

Berbeda dari penelitian-penelitian tersebut, penelitian ini menggunakan pendekatan server-side inference dengan model ANN (Multi-Layer Perceptron) yang memanfaatkan rekayasa fitur berbasis deret waktu hingga rentang satu minggu, kombinasi sumber energi mandiri, serta keluaran sistem berupa respons suara (text-to-speech) selain tampilan pada layar dan antarmuka web.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, yaitu pendekatan penelitian di mana peneliti secara aktif mengamati bagaimana perubahan parameter lingkungan

memengaruhi keluaran sistem yang dibangun. Variabel bebas (input) yang diamati adalah suhu, kelembapan, tekanan udara, dan intensitas cahaya, yang membentuk vektor fitur X . Variabel terikat (target/output) model, dinotasikan Y , adalah kondisi cuaca kategorikal yang diklasifikasikan ke dalam tujuh kelas $C = \{\text{Cerah, Berawan, Mendung, Panas, Panas Ekstrem, Hujan, Dingin}\}$. Label kelas ini ditentukan secara rule-based dari ambang nilai sensor sebagai ground truth pelatihan, misalnya suhu 30°C – 34°C dilabeli "Panas", suhu $>34^{\circ}\text{C}$ dilabeli "Panas Ekstrem", suhu $\leq 22^{\circ}\text{C}$ dilabeli "Dingin", intensitas cahaya 1.000–10.000 lux dilabeli "Mendung"/"Berawan" (tergantung waktu pengamatan), dan pembacaan sensor hujan aktif dilabeli "Hujan"; kondisi Cerah digunakan sebagai kelas default apabila tidak ada kriteria lain yang terpenuhi.

Secara matematis, model dinyatakan sebagai fungsi klasifikasi multi-kelas $f_h: X \rightarrow \hat{Y}_h$, dengan $h \in \{1, 3, 6, 12, 24\}$ jam menyatakan horizon prediksi, X adalah vektor fitur pada waktu t (mencakup fitur mentah dan fitur rekayasa deret waktu), dan $\hat{Y}_h \in C$ adalah kelas kondisi cuaca hasil prediksi pada waktu $t+h$. Variabel yang diukur untuk mengevaluasi performa model adalah akurasi prediksi pada setiap horizon waktu tersebut, dengan definisi operasional:

$$\text{Akurasi} = (\text{Jumlah prediksi kelas yang benar} / \text{Total data uji}) \times 100\%$$

yang dihitung secara terpisah untuk tiap horizon menggunakan 20% data uji hasil pembagian data kronologis, dilengkapi metrik precision dan recall per kelas untuk menilai performa pada kelas yang tidak seimbang (class imbalance).

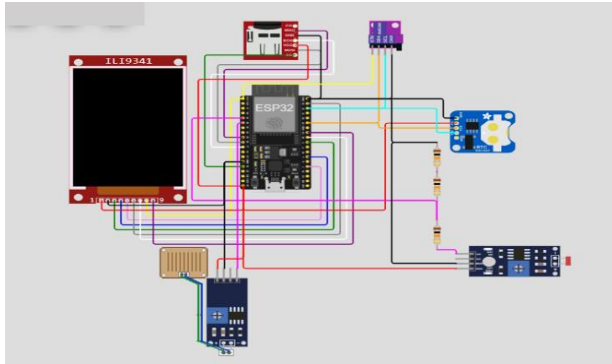
A. PERANCANGAN SISTEM

Perancangan perangkat keras menggunakan ESP32 sebagai unit kontrol, sensor BME280 untuk membaca suhu, kelembapan, dan tekanan udara melalui protokol I2C, sensor hujan dan LDR untuk mendeteksi air serta cahaya melalui pin analog, layar LCD TFT ILI9341 melalui protokol SPI, serta sistem catu daya panel surya 60 Wp, SCC PWM 10 A, dan aki 12 V 8 Ah, sebagaimana dirangkum pada Tabel 2.

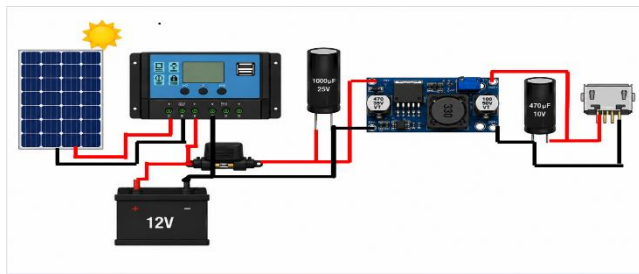
Tabel 2 Alat dan Bahan Penelitian

No	Komponen	Spesifikasi	Jml	Fungsi
1	ESP32	Dual-core 240 MHz, Wi-Fi+BLE	1	Akuisisi data & kendali utama
2	BME280	I2C, suhu/kelembapan/tekanan	1	Membaca suhu, kelembapan, tekanan
3	Sensor Hujan	Komparator + papan konduktif	1	Deteksi hujan (label kondisi cuaca)
4	LDR	Analog, dikonversi ke lux	1	Membaca intensitas cahaya
5	LCD TFT ILI9341	2,4", 240×320 px, SPI	1	Menampilkan data & prediksi
6	Panel Surya	60 Wp	1	Sumber energi utama

No	Komponen	Spesifikasi	Jml	Fungsi
7	SCC	PWM, 10 A	1	Pengatur pengisian aki
8	Aki	12 V, 8 Ah, 2,4 A	1	Penyimpan & penyuplai daya
9	MicroSD	4 GB	1	Penyimpanan data sensor
10	RTC DS3231	I2C	1	Pengatur waktu



Gambar 1. Wiring Esp32 dan Sensor

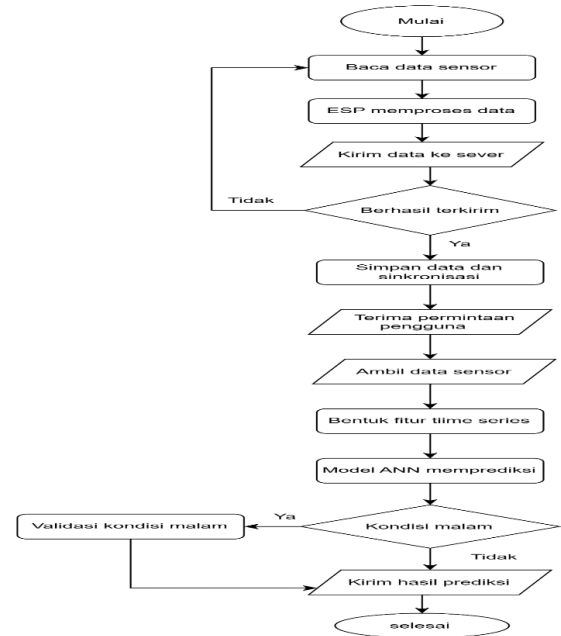


Gambar 2. Wiring catu daya

Perangkat lunak terbagi menjadi firmware ESP32 dan server berbasis Python (Flask). Firmware membaca data sensor, menampilkannya pada LCD, menyimpan log ke MicroSD, dan mengirim data ke server via HTTP. Model AI menggunakan arsitektur ANN (MLPClassifier) dengan dua hidden layer (masing-masing 100 neuron). Rekayasa fitur (feature engineering) mencakup selisih, rata-rata bergerak, serta anomali historis terhadap rata-rata.

B. PENGATURAN EKSPERIMEN

Lokasi pengujian dilakukan di Kampung Babakan Cianjur RT 02/RW 10, Desa Gadobangkong, Kecamatan Ngamprah, Kabupaten Bandung Barat dengan radius ± 1 km. Pengujian komunikasi bersifat dua arah di mana ESP32 mengirim data sensor (POST /update-sensor) dan server menyinkronkan data. Model dievaluasi menggunakan skema data kronologis (80% data latih, 20% data uji) untuk mencegah kebocoran informasi masa depan (time-series).



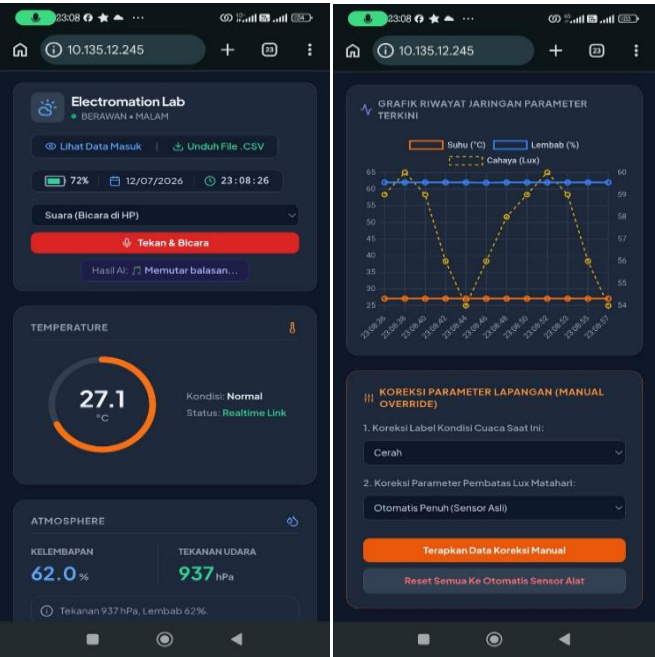
Gambar 3. Flowchart seluruh sistem

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Seluruh komponen perangkat keras berhasil terpasang dan berfungsi sesuai rancangan. Firmware ESP32 menyediakan antarmuka web yang menampilkan status koneksi, data sensor real-time, grafik riwayat, dan fitur koreksi manual



Gambar 4. Implementasi alat



Gambar 5. Tampilan web server

```
[SISTEM] Memulai sinkronisasi cepat data tertinggal...
[22:24:27] Memeriksa status MicroSD ESP32...
⚠ Menunggu ESP32 mengirim data pertama kali untuk mendeteksi IP-nya...
[SISTEM] IP ESP32 baru terdeteksi: http://10.210.31.245
⚡ Memulai sinkronisasi awal (maksimal 100 data)...

[22:24:30] Memeriksa status MicroSD ESP32...
0.210.31.245 -- [27/Jul/2026 22:24:30] "POST /update-sensor HTTP/1.1" 200
✅ Data sinkron penuh (2311 baris). Memasuki mode hemat daya (11 Menit).
0.210.31.245 -- [27/Jul/2026 22:24:41] "POST /update-sensor HTTP/1.1" 200
```

Gambar 6. Tampilan komunikasi server python dan web server esp32

sensor BME280 menunjukkan akurasi suhu malam hari yang konsisten, namun mengalami lonjakan panas pada siang hari akibat paparan sinar matahari langsung terhadap casing. Pengujian sensor LDR menghasilkan tingkat kesesuaian 75% terhadap rentang nilai lux referensi [19], [20]. Sensor hujan memberikan akurasi 100% terhadap deteksi rintik hujan di lapangan.

Tabel 3 Pengujian Prediksi Multi-Horizon

No	Horizon	Prediksi Sistem	Kondisi Aktual	Sesuai?
1	1 Jam	Panas	Panas	Ya
2	3 Jam	Panas Ekstrem	Panas Ekstrem	Ya
3	6 Jam	Panas Ekstrem	Panas	Tidak
4	12 Jam	Berawan	Dingin	Tidak
5	1 Hari	Panas	Panas	Ya

Perlu ditekankan bahwa Tabel 3 merupakan ilustrasi kualitatif (spot-check) untuk menunjukkan perilaku sistem pada kelima horizon prediksi, dan bukan representasi evaluasi kuantitatif penuh. Evaluasi kuantitatif model dilakukan secara terpisah menggunakan skema klasifikasi tunggal (bukan per-horizon) pada 184 data uji dari total 919 data historis, dengan akurasi keseluruhan sebesar 32,07%. Sebagai pembandingan, baseline sederhana berupa penebakan kelas mayoritas (Berawan, yang mencakup 69 dari 184 data uji atau 37,5%) menghasilkan akurasi 37,5%, yang berarti model belum menunjukkan kemampuan prediktif yang lebih baik dibanding baseline naif tersebut pada evaluasi akurasi keseluruhan. Hal ini konsisten dengan temuan bahwa performa model masih sangat bergantung pada kelas dominan (Berawan dan Cerah), sementara kelas minoritas (Hujan, Panas, Mendung, Hujan Gerimis) memiliki recall dan f1-score 0,00 akibat class imbalance dan keterbatasan jumlah sampel historis pada kelas tersebut. Temuan ini menjadi salah satu keterbatasan utama penelitian dan indikasi bahwa penambahan data historis pada kelas minoritas, penyeimbangan kelas (misalnya melalui oversampling), atau evaluasi dengan metrik selain akurasi keseluruhan (seperti macro F1-score) diperlukan pada penelitian lanjutan agar performa model dapat dinilai secara lebih adil dan andal

Tabel 4 Pengujian Sistem Catu Daya

Tahap	Media Penyimpanan Energi	Panel Surya	Hasil Pengujian
1	Li-Ion 18650, 1500 mAh	3 Wp	Bertahan ±1 jam di luar ruangan
2	Li-Po, 3500 mAh	12 Wp	Terisi penuh saat siang terik; malam bertahan 5–6 jam
3	Aki 12 V, 8 Ah, 2,4 A	60 Wp, SCC PWM 10 A	Bertahan 24 jam penuh

Pengujian catu daya menunjukkan konfigurasi aki 12 V 8 Ah dengan panel surya 60 Wp memberikan ketahanan optimal yang mampu menjaga sistem tetap hidup selama 24 jam penuh tanpa henti. Pengujian fitur respons suara (/voice-command) berjalan lancar dalam menerjemahkan suara ke teks (STT) dan membacakan hasil analisis cuaca secara interaktif, sebagaimana dirangkum pada Tabel 5.

Tabel 5 Pengujian Integrasi Sistem

No	Skenario Pengujian	Hasil
1	Data sensor berhasil dikirim ESP32 → Server	Ya
2	Data tersimpan dan model retraining otomatis	Ya
3	Permintaan prediksi via web (/predict-text)	Lancar
4	Permintaan prediksi via suara (/voice-command)	Lancar

V. KESIMPULAN

Sistem monitoring dan prediksi cuaca mikro berbasis IoT dan AI berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan ESP32, BME280, LDR, dan sensor hujan dengan komunikasi web server lokal (Flask). Catu daya mandiri panel surya 60 Wp terbukti berhasil menopang operasional secara kontinu selama 24 jam. Model ANN jenis MLP memberikan akurasi keseluruhan 32,07% akibat adanya ketidakseimbangan kelas (class imbalance) serta perlunya pembersihan label (inkonsistensi sinonim data historis).

Pekerjaan lanjutan disarankan mencakup pembersihan dan penyatuan pelabelan kondisi cuaca yang bersifat sinonim pada dataset, serta eksplorasi model prediktif time-series lainnya seperti Long Short-Term Memory (LSTM) untuk dibandingkan performanya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Aldrian, M. Karmini, and Budiman, *Adaptasi dan Mitigasi Perubahan Iklim di Indonesia*. Jakarta: Pusat Perubahan Iklim dan Kualitas Udara, BMKG, 2011.
- [2] R. Geiger, R. H. Aron, and P. Todhunter, *The Climate Near the Ground*, 6th ed. Rowman & Littlefield, 2003.
- [3] NOAA, "National Weather Service Glossary: Macroscale and Microscale." [Online]. Available: <https://w1.weather.gov/glossary/>
- [4] Y. Sarvina, E. Surmaini, and L. S. Supriatin, "Dampak Perubahan Iklim pada Sektor Prioritas," in *Teknologi dan Kearifan Lokal untuk Adaptasi Perubahan Iklim*, Jakarta: Penerbit BRIN, 2023, pp. 1–21.
- [5] K. Ashton, "That 'Internet of Things' Thing," *RFID Journal*, 1999.
- [6] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, 2013.
- [7] World Meteorological Organization, "Weather." [Online]. Available: <https://wmo.int/themes/weather>
- [8] Espressif Systems, *ESP32 Series Datasheet*, 2023.
- [9] N. Kolban, *Kolban's Book on ESP32*. Leanpub, 2022.
- [10] Random Nerd Tutorials, "Learn ESP32, ESP8266, Arduino, and Raspberry Pi," 2023. [Online]. Available: <https://randomnerdtutorials.com/>
- [11] O. Yuliani et al., "Desain dan implementasi alat pemantauan cuaca self-sustain berbasis IoT," *J. ReTII*, 2025.
- [12] World Meteorological Organization, "Artificial Intelligence." [Online]. Available: <https://wmo.int/themes/artificial-intelligence>
- [13] S. Russell and P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 4th ed. Pearson, 2021.
- [14] I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, *Deep Learning*. MIT Press, 2016.
- [15] B. Lim, S. Ö. Arık, N. Loeff, and T. Pfister, "Temporal Fusion Transformers for interpretable multi-horizon time series forecasting," *Int. J. Forecast.*, vol. 37, no. 4, pp. 1748–1764, 2021.
- [16] H. Al Fadil et al., "Implementasi artificial neural network (ANN) untuk memprediksi cuaca harian berdasarkan data suhu dan kelembapan," *J. RIGGS*, 2026.
- [17] K. Riyanto and I. G. N. Suryantara, "Implementasi model LSTM pada mikrokontroler untuk prediksi iklim mikro secara real-time menggunakan TinyML," *J. Mahasiswa Teknik Informatika (JATI)*, 2026.
- [18] D. Yudistira and M. Ikhsan, "Integrasi sistem IoT untuk pemantauan cuaca real-time dan prediksi curah hujan berbasis LSTM," *J. Edumatic*, 2025.
- [19] Robojax, "Rain Sensor Module Tutorial," 2021. [Online]. Available: <https://robojax.com>
- [20] Solis, "LDR Basics: How Light Dependent Resistors Work," 2020. [Online]. Available: <https://solis-electronics.com>