

PENGEMBANGAN MODEL HIBRID RNN-ANFIS UNTUK PREDIKSI CUACA REAL-TIME PADA SISTEM STASIUN CUACA BERBASIS IOT

Delvira Khulhairat¹, Syafrijon², Elfi Tasrif³, Yasdinul Huda⁴

¹⁻⁴ Universitas Negeri Padang

*Penulis Korespondensi: delvirakhulhairat12@gmail.com

Abstract. Climate change and the rise in extreme weather events demand accurate, real-time weather prediction systems. This study develops a hybrid Recurrent Neural Network (RNN) and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) model for weather prediction on an Internet of Things (IoT)-based weather station, in which RNN serves as the primary predictor while ANFIS functions as a numerical correction layer for the RNN output. Data were collected using DHT-21, anemometer, BMP280, and LDR sensors controlled by an ESP32 microcontroller, covering five weather parameters—temperature, humidity, wind speed, air pressure, and light intensity—transmitted to a Firebase Realtime Database. Testing was conducted over seven consecutive days using RMSE, MAE, MAPE, and accuracy (100–MAPE) metrics. Results show an average accuracy of 94.53% for the RNN model and 93.86% for the hybrid RNN-ANFIS model, with ANFIS correction consistently improving parameters exhibiting smooth patterns of change, such as temperature, humidity, and air pressure. In contrast, for parameters with abrupt changes, such as wind speed and light intensity, ANFIS correction produced inconsistent results, with systematic underestimation errors at peak values. The prediction results were subsequently implemented on a web-based dashboard for real-time weather information delivery. This study demonstrates that RNN-ANFIS integration effectively improves weather prediction accuracy for parameters with stable data patterns, while further development is needed to handle parameters with high variability.

Keywords: RNN, ANFIS, weather prediction, IoT, hybrid model

Abstrak. Perubahan iklim dan meningkatnya kejadian cuaca ekstrem menuntut ketersediaan sistem prediksi cuaca yang akurat dan *real-time*. Penelitian ini mengembangkan model hibrid *Recurrent Neural Network* (RNN) dan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) untuk prediksi cuaca pada sistem stasiun cuaca berbasis *Internet of Things* (IoT), dengan RNN berperan sebagai model prediktor utama dan ANFIS sebagai lapisan koreksi numerik terhadap hasil prediksi RNN. Data diperoleh dari stasiun cuaca berbasis IoT yang mengukur lima parameter cuaca, yaitu suhu, kelembapan udara, kecepatan angin, tekanan udara, dan intensitas cahaya, kemudian dikirim ke *Firebase Realtime Database*. Pengujian dilakukan selama tujuh hari berturut-turut menggunakan metrik RMSE, MAE, MAPE, dan akurasi (100–MAPE). Hasil pengujian menunjukkan rata-rata akurasi model RNN sebesar 94,53%, sedangkan model hibrid RNN-ANFIS mencapai 93,86%. Meskipun rata-rata akurasi keseluruhan model hibrid sedikit lebih rendah, koreksi ANFIS mampu memberikan perbaikan yang konsisten pada parameter dengan pola perubahan yang relatif stabil, seperti suhu, kelembapan udara, dan tekanan udara. Sebaliknya, pada parameter dengan pola perubahan yang fluktuatif, seperti kecepatan angin dan intensitas cahaya, koreksi ANFIS belum memberikan peningkatan yang konsisten dan masih menunjukkan kecenderungan *underestimation* pada nilai puncak. Hasil prediksi selanjutnya diimplementasikan pada dashboard berbasis web untuk penyajian informasi cuaca secara *real-time*. Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi RNN dan ANFIS berpotensi meningkatkan kualitas prediksi melalui mekanisme koreksi numerik pada parameter dengan pola temporal yang stabil, namun masih memerlukan pengembangan lebih lanjut agar mampu menangani parameter dengan variabilitas tinggi.

Kata kunci: RNN, ANFIS, Prediksi Cuaca, IoT, Model Hibrid

1. LATAR BELAKANG

Perubahan iklim telah menjadi isu global yang mendapat perhatian serius dari berbagai lembaga ilmiah dunia. *The Royal Society* dan *US National Academy of Science*

menyatakan bahwa permasalahan iklim telah berlangsung sejak era 1900-an, ditandai dengan peningkatan temperatur rata-rata sebesar 0,8°C atau 14°F, kenaikan suhu lautan, pencairan es di kutub, serta perubahan cuaca yang ekstrem [1]. Laporan kelima IPCC (AR-5) mencatat suhu permukaan bumi meningkat rata-rata 0,85°C dalam 130 tahun terakhir yang berdampak luas terhadap sistem iklim dan kehidupan manusia [2].

Di Indonesia, dampak ini tercermin dari meningkatnya kejadian cuaca ekstrem seperti curah hujan tinggi dan kemarau berkepanjangan yang memicu banjir dan kekeringan, sehingga menekan sektor ekonomi, pertanian, tata kelola air, dan infrastruktur [3]. Kondisi ini sangat nyata di Pulau Sumatera, di mana suhu Kota Palembang meningkat rata-rata 2,4°C dalam 50 tahun terakhir [4], curah hujan Sumatera Barat mencapai 193 mm/hari dengan suhu puncak awan 74,5°C [5], kecepatan angin di Bengkulu berkisar 2,25–8,51 m/s dengan curah hujan ekstrem 115,3 mm/hari [6], serta Siklon Senyar di Selat Malaka yang memperparah curah hujan di Aceh (310,8 mm/hari), Sumatera Utara (262,2 mm/hari), dan Sumatera Barat (154 mm/hari) [7]. Data tersebut menunjukkan dinamika cuaca yang semakin tidak stabil akibat variabilitas iklim global seperti *monsun* dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) [4].

Ketersediaan informasi prediksi cuaca yang akurat menjadi kebutuhan yang mendesak. Stasiun cuaca merupakan teknologi yang dapat merekam dan menyimpan data dari berbagai sensor atmosfer untuk memantau perubahan kondisi cuaca suatu wilayah [8]. Namun, teknologi yang digunakan saat ini masih menghadapi berbagai keterbatasan dalam akurasi prediksi. Model *Numerical Weather Prediction* (NWP) memiliki ketergantungan tinggi terhadap kondisi awal dan kebutuhan komputasi yang besar [9]. Model ANN sangat bergantung pada arsitektur jaringan dan volume data pelatihan [10]. Model BPNN rentan terhadap instabilitas konvergensi dan lokal minimum [11]. Model *Decision Tree C4.5* cenderung *overfitting* pada struktur pohon yang kompleks [12], [13]. Serta model *Random Forest* memiliki keterbatasan dalam interpretabilitas dan pemodelan hubungan temporal data cuaca [14]. Keterbatasan tersebut mendorong perlunya pendekatan prediksi yang lebih adaptif, stabil, dan mampu menangkap dinamika data deret waktu secara akurat.

Salah satu pendekatan yang dipandang menjanjikan adalah implementasi model *Recurrent Neural Network* (RNN), yang memiliki keunggulan dalam memproses data

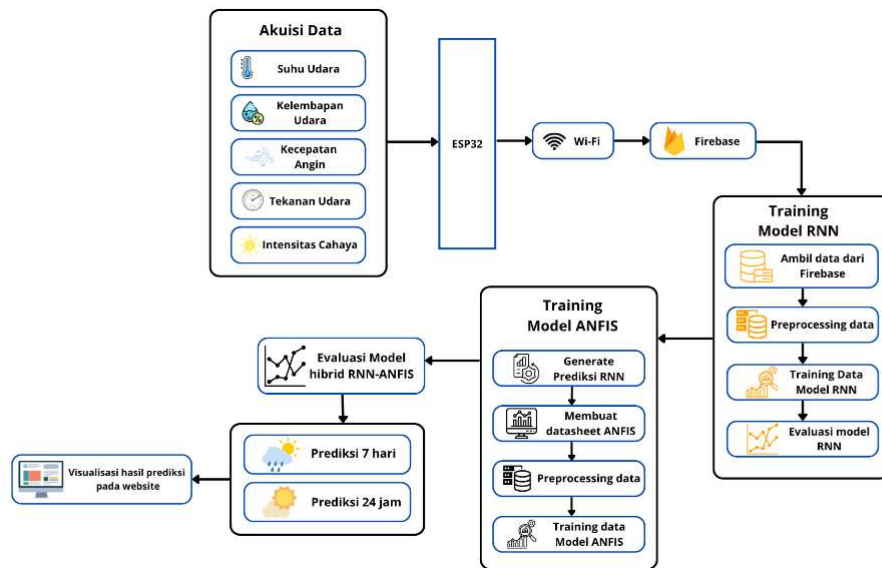
time-series sekuensial dan dinamis seperti data cuaca berkat struktur *recurrent layer* yang memungkinkan model menyimpan informasi dari waktu ke waktu, serta kemampuan generalisasi yang baik terhadap data non-linear dan kompleks [15]. Namun, RNN secara tunggal belum sepenuhnya mampu menangani ketidakpastian dan ambiguitas data cuaca, sehingga prediksi yang dihasilkan masih berpotensi mengalami fluktuasi dan ketidakstabilan [16]. Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini mengintegrasikan RNN dengan ANFIS (*Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*), yaitu sistem hibrida yang menggabungkan kemampuan jaringan syaraf tiruan dengan logika fuzzy [17], di mana jaringan syaraf tiruan mampu belajar dari data historis sebelumnya sedangkan logika fuzzy menyediakan perhitungan berbasis aturan tanpa pemodelan matematis eksplisit dengan output yang ditentukan secara adaptif berdasarkan input yang diterima [18], sehingga integrasi RNN-ANFIS diharapkan menghasilkan model prediksi cuaca yang lebih akurat dan stabil.

2. METODE PENELITIAN

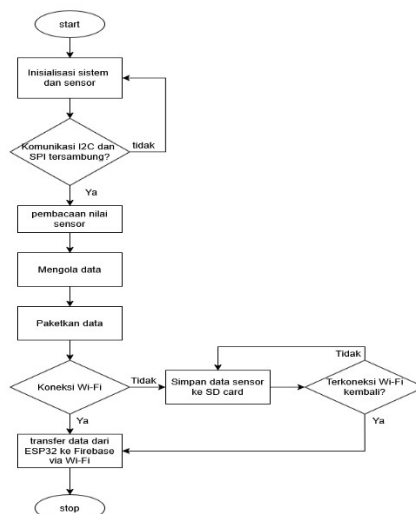
Penelitian ini menggunakan pendekatan *waterfall*, yang merupakan salah satu model *Software Development Life Cycle* (SDLC) yang menyediakan alur pengembangan secara terurut, di mana setiap tahap harus diselesaikan secara menyeluruh sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya [19]. Tahapan penelitian meliputi analisis kebutuhan, desain sistem, implementasi, integrasi dan pengujian, serta operasi dan pemeliharaan. Pendekatan ini dipilih karena sesuai dengan karakteristik penelitian pengembangan model yang bersifat satu siklus pengembangan (*single development cycle*) tanpa iterasi lanjutan.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan model prediksi cuaca hibrid RNN-ANFIS, yang mana *Recurrent Neural Network* (RNN) berperan sebagai model predictor utama pada sistem, dan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) berperan sebagai lapisan koreksi numerik atas hasil prediksi RNN. Dataset yang digunakan diperoleh dari sistem stasiun cuaca berbasis IoT yang dikembangkan sebagai sarana pengujian model pada kondisi data riil. Parameter dataset yang digunakan yaitu, suhu, kelembapan udara, kecepatan angin, tekanan udara, dan intensitas cahaya.

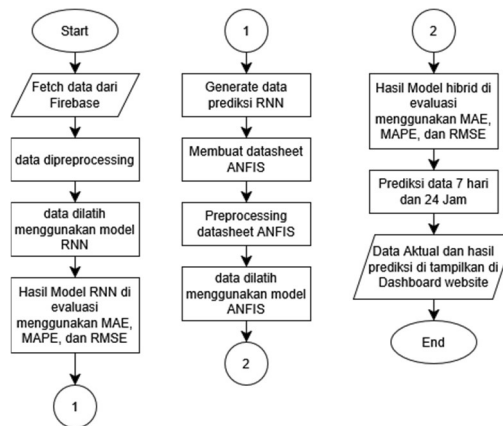
PENGEMBANGAN MODEL HIBRID RNN-ANFIS UNTUK PREDIKSI CUACA REAL-TIME PADA SISTEM STASIUN CUACA BERBASIS IOT



Data cuaca dikumpulkan menggunakan empat sensor utama yakni, DHT-21 untuk mengukur suhu dan kelembapan udara, anemometer untuk mengukur kecepatan angin, BMP280 untuk mengukur tekanan udara, dan modul sensor LDR untuk mengukur intensitas cahaya. Keempat sensor dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32. Proses akuisi data pada ESP32 dimulai dengan melakukan inisialisasi sistem dan sensor, pengecekan komunikasi I2C/SPI, pembacaan dan pengolahan nilai sensor, hingga pengiriman data ke *firebase realtime database* melalui koneksi WiFi. Sebagai mekanisme mitigasi kegagalan jaringan, sistem menyimpan data sementara ke *SD card* apabila koneksi WiFi terputus, dan mengirimkan data tersebut secara otomatis setelah terkoneksi kembali dengan WiFi.



Data yang tersimpan di *firebase* selanjutnya diambil sebagai dataset *training* model. Tahap awal sebelum dilakukannya *training* model adalah tahap *preprocessing* yang meliputi penanganan data kosong dan tidak valid, pengurutan data berdasarkan waktu, normalisasi menggunakan *Min-Max Scalling*, serta pembentukan data menjadi format sekuensial (*sliding window*) sesuai kebutuhan input RNN.



Model RNN dilatih menggunakan data historis hasil pra-pemrosesan untuk mempelajari pola temporal pada masing-masing parameter cuaca. Proses ini mencakup pelatihan model pada data historis dan evaluasi awal menggunakan metrik MAE, MAPE, dan RMSE untuk mengukur akurasi prediksi dari model murni RNN sebelum tahap koreksi. Model RNN menghasilkan prediksi numerik awal untuk setiap parameter cuaca pada periode berikutnya.

ANFIS sendiri berperan sebagai model koreksi numerik atas output RNN. Prediksi RNN pada tahap sebelumnya digunakan untuk membentuk dataset ANFIS, yaitu pasangan data antara nilai prediksi RNN dan nilai aktual dari sensor, yang kemudian melalui tahap *preprocessing* lagi sebelum dilatih menggunakan model ANFIS. Setiap parameter cuaca dilatih menggunakan model ANFIS terpisah (*single output*), sehingga terbentuk lima model ANFIS independent. Pendekatan ini dipilih karena ANFIS mampu mempelajari pola *error* atau residual sistematis pada prediksi RNN melalui kombinasi logika *fuzzy* berbasis aturan dan pembelajaran adaptif jaringan syaraf tiruan, sehingga hasil akhir prediksi memiliki akurasi numerik yang lebih baik dibandingkan RNN.

Hasil koreksi ANFIS terhadap prediksi RNN dievaluasi menggunakan metrik RMSE, MAE, dan MAPE dalam satuan fisik asli masing-masing parameter cuaca, untuk memastikan hasil evaluasi merepresentasikan tingkat kesalahan yang bermakna secara

praktis, bukan pada skala data yang telah dinormalisasi. Model hibrid yang telah dievaluasi kemudian digunakan untuk menghasilkan prediksi cuaca 24 jam dan 7 hari ke depan. Hasil prediksi ini disimpan kembali di *firebase realtime database* dan ditampilkan pada *dashboard website* berbasis Next.js sebagai visualisasi data.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian akurasi model dilakukan selama tujuh hari berturut-turut, dengan jumlah dataset yang terus bertambah dari 3.812 sampel pada hari pertama hingga 11.578 sampel pada hari ketujuh. Akurasi dihitung menggunakan pendekatan rumus:

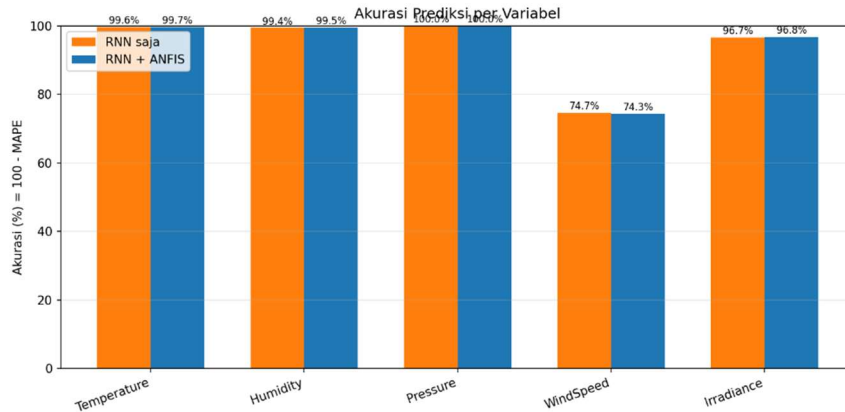
$$akurasi = 100 - MAPE$$

Akurasi merepresentasikan kedekatan prediksi terhadap data aktual dalam bentuk persentase, dibandingkan antara model RNN tunggal dan model hibrid RNN-ANFIS guna melihat sejauh mana koreksi ANFIS mempengaruhi akurasi prediksi.

Tanggal	Jumlah Sampel dataset	Akurasi RNN	Akurasi Hibrid RNN-ANFIS
11 Juli 2026	3812	92.54%	92.8%
12 Juli 2026	5084	92.54	90.9%
13 Juli 2026	5993	98.08%	98.61%
14 Juli 2026	6933	96.23%	96.14%
15 Juli 2026	8870	95.69%	94.73%
16 Juli 2026	9747	92.55%	89.81%
17 Juli 2026	11578	94.07%	94.05%

Secara keseluruhan, akurasi kedua model berfluktuasi pada rentang 89,81%–98,61% selama tujuh hari pengujian tanpa menunjukkan kecenderungan peningkatan yang konsisten seiring bertambahnya jumlah data pelatihan. Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah sampel tidak secara langsung menjamin peningkatan performa model, karena karakteristik distribusi data dan tingkat kompleksitas pola cuaca pada setiap hari turut memengaruhi kemampuan prediksi. Model RNN memperoleh rata-rata akurasi sebesar 94,53%, sedikit lebih tinggi dibandingkan model hibrid RNN-ANFIS sebesar 93,86%, dengan selisih rata-rata sekitar 0,67 poin persentase. Meskipun

demikian, model hibrid berhasil memberikan akurasi yang lebih tinggi pada tiga dari tujuh hari pengujian. Hasil ini mengindikasikan bahwa koreksi ANFIS tidak memberikan peningkatan performa secara universal, melainkan efektivitasnya bergantung pada karakteristik data yang diprediksi.



Ditinjau berdasarkan masing-masing parameter, tekanan udara secara konsisten menunjukkan akurasi tertinggi pada kedua model dengan rentang 99,9–100%. Tingginya akurasi ini menunjukkan bahwa tekanan udara memiliki pola temporal yang relatif stabil dan berubah secara gradual, sehingga lebih mudah dipelajari oleh model RNN maupun ANFIS. Parameter suhu dan kelembapan udara juga memperlihatkan akurasi yang tinggi (>96%), yang mengindikasikan bahwa kedua parameter memiliki pola perubahan yang relatif kontinu sehingga proses koreksi numerik menggunakan ANFIS mampu memperbaiki sebagian residual prediksi RNN.

untuk menganalisis performa masing-masing parameter cuaca, evaluasi dilakukan secara terpisah terhadap suhu, kelembapan udara, kecepatan angin, tekanan udara, dan intensitas cahaya. Pada setiap hari pengujian, hasil prediksi model dibandingkan dengan data aktual sensor pada parameter yang sama. Nilai kesalahan dihitung menggunakan *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)*, kemudian dikonversi menjadi nilai akurasi menggunakan persamaan:

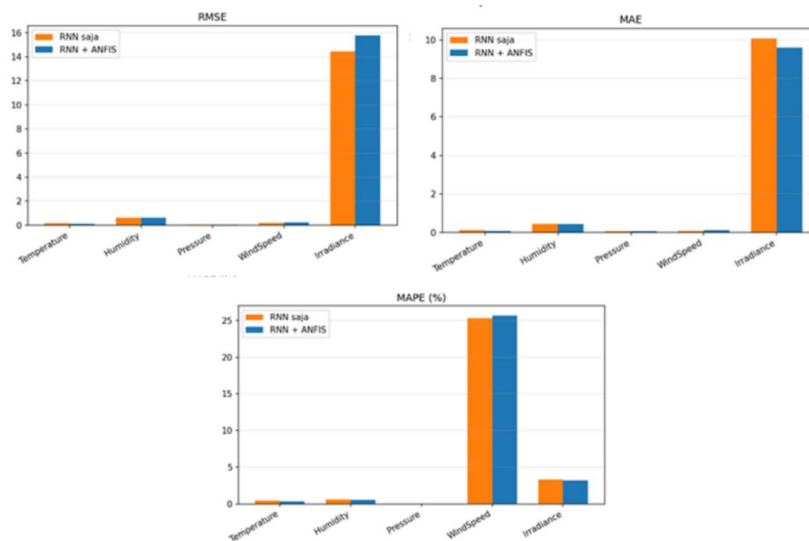
$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right|$$

**PENGEMBANGAN MODEL HIBRID RNN-ANFIS UNTUK PREDIKSI CUACA
REAL-TIME PADA SISTEM STASIUN CUACA BERBASIS IOT**

Parameter	Model	Hari ke- (%)						
		1	2	3	4	5	6	7
Suhu	RNN	99.5	99.4	99.56	99.5	99.57	99.62	99.6
	Hibrid	98.1	99.5	99.54	99.62	99.61	99.66	99.71
Kelembapan	RNN	97.6	98.6	99.2	98.99	99.2	99.08	99.42
	Hibrid	98.7	98.5	99.18	99.17	99.44	99.48	99.45
Kecepatan Angin	RNN	66.2	68.3	80.64	85.94	82.81	71.62	74.66
	Hibrid	68.0	65.4	83.48	83.96	76.31	56.82	74.31
Tekanan Udara	RNN	99.9	99.9	99.9	100	100	100	100
	Hibrid	99.9	99.9	99.9	100	100	100	99.9
Intensitas Cahaya	RNN	99.1	96.5	98.08	96.74	96.86	92.45	96.66
	Hibrid	99.2	91.2	98.61	97.93	98.32	93.11	96.81

Secara umum, ANFIS dapat memberikan kontribusi positif pada parameter dengan pola perubahan halus dan gradual, sementara pada parameter dengan pola perubahan mendadak, efek koreksinya cenderung tidak stabil dan berpotensi kontraproduktif.

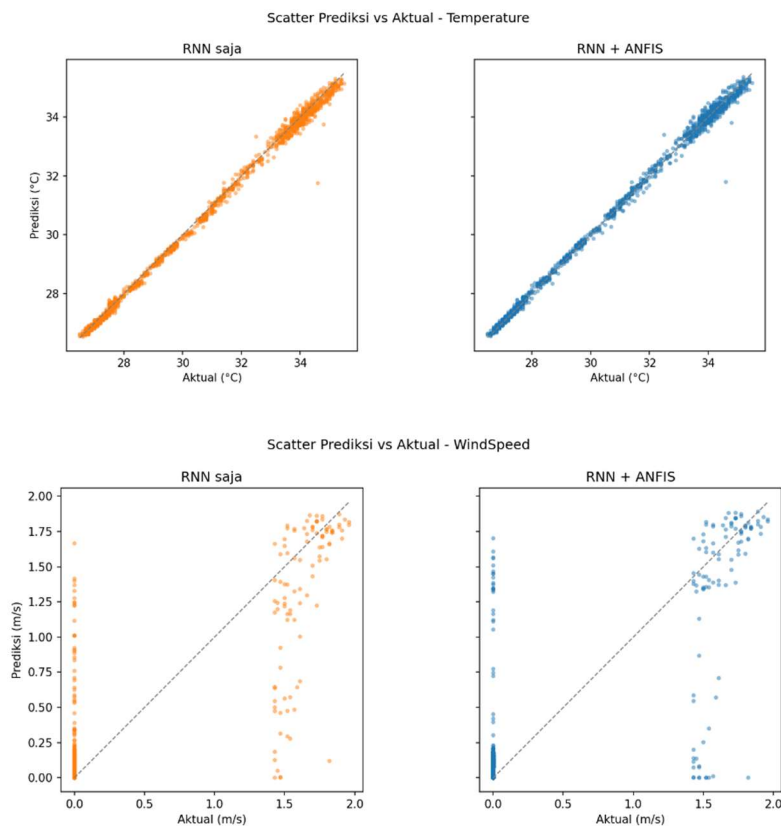
Evaluasi kesalahan prediksi dilakukan menggunakan tiga metrik yakni, RMSE, MAE, dan MAPE.



Parameter	Model	RMSE	MAE	MAPE
Suhu	RNN	0.17	0.13	0.4%
	Hibrid	0.14	0.09	0.29%
Kelembapan	RNN	0.64	0.45	0.58%
	Hibrid	0.63	0.42	0.55%
Kecepatan angin	RNN	0.21	0.09	25.34%
	Hibrid	0.24	0.12	25.69%
Tekanan udara	RNN	0.06	0.05	0.0%
	Hibrid	0.07	0.06	0.01%
Intensitas cahaya	RNN	14.44	10.09	3.34%
	Hibrid	15.8	9.59	3.19%

Hasil evaluasi menggunakan RMSE, MAE, dan MAPE menunjukkan bahwa suhu dan tekanan udara memiliki tingkat kesalahan paling kecil pada kedua model. Nilai RMSE dan MAE yang rendah menunjukkan bahwa selisih absolut antara hasil prediksi dan data aktual relatif kecil, sedangkan nilai MAPE yang mendekati nol menunjukkan bahwa kesalahan tersebut juga sangat kecil jika dibandingkan terhadap nilai aktualnya. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kedua parameter memiliki pola perubahan yang stabil sehingga lebih mudah dipelajari oleh model prediksi. Pada intensitas cahaya, nilai RMSE dan MAE tampak besar secara nominal akibat rentang data aktual yang lebar (0 – 1000 W/m²), namun MAPE relatif rendah, dan ini menunjukkan error yang secara proporsional kecil terhadap skala data. Anomali tercatat pada hari ke-2, saat RMSE dan MAPE model hibrid melonjak tajam dibandingkan RNN. Ini mengindikasikan koreksi ANFIS mengalami kesalahan signifikan pada kondisi cuaca yang menyimpang dari pola pelatihan.

**PENGEMBANGAN MODEL HIBRID RNN-ANFIS UNTUK PREDIKSI CUACA
REAL-TIME PADA SISTEM STASIUN CUACA BERBASIS IOT**



Analisis visual menggunakan scatter plot memperkuat hasil evaluasi numerik. Pada parameter suhu, kelembapan udara, tekanan udara, dan intensitas cahaya, sebagian besar titik prediksi berada di sekitar garis diagonal yang merepresentasikan kondisi prediksi ideal. Sebaran titik yang relatif simetris terhadap garis diagonal menunjukkan bahwa kesalahan prediksi didominasi oleh random error tanpa adanya kecenderungan bias tertentu, sehingga model mampu mengikuti pola perubahan data aktual dengan baik. Berbeda dengan parameter lainnya, kecepatan angin menunjukkan akurasi paling rendah dengan rentang 56,8–85,9%. Rendahnya performa ini diduga disebabkan oleh karakteristik kecepatan angin yang memiliki fluktuasi tinggi dan perubahan mendadak akibat pengaruh kondisi atmosfer lokal. Pola seperti ini lebih sulit dipelajari oleh model berbasis time series karena kejadian ekstrem relatif jarang muncul pada data pelatihan. Akibatnya, ANFIS tidak selalu mampu melakukan koreksi residual secara tepat dan pada beberapa hari justru menurunkan akurasi hasil prediksi.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan ANFIS sebagai lapisan koreksi numerik belum selalu meningkatkan performa prediksi RNN pada seluruh parameter cuaca. Efektivitas koreksi sangat dipengaruhi oleh karakteristik temporal masing-masing

parameter. Pada parameter dengan pola perubahan yang stabil, ANFIS mampu memperbaiki residual prediksi RNN sehingga menghasilkan peningkatan akurasi. Sebaliknya, pada parameter dengan variabilitas tinggi seperti kecepatan angin, residual yang tidak berpola menyebabkan proses koreksi menjadi kurang efektif. Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan hibrid lebih sesuai diterapkan pada parameter dengan pola perubahan gradual dibandingkan parameter yang didominasi oleh perubahan mendadak

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan model hibrid RNN-ANFIS untuk prediksi cuaca, dengan RNN sebagai predictor utama dan ANFIS sebagai lapisan koreksi numerik. Pengujian selama tujuh hari menunjukkan rata-rata akurasi RNN sebesar 94.53% dan model hibrid 93.86% dengan koreksi ANFIS memberikan perbaikan konsisten pada parameter pola halus seperti suhu, kelembapan, dan tekanan udara. Namun tidak konsisten pada parameter dengan pola yang memiliki pola data dengan perubahan mendadak seperti kecepatan angin (MAPE 14.06%-43.18%) akibat kesalahan sistematis berupa underestimation pada nilai puncak/kondisi ekstrem

DAFTAR REFERENSI

- [1] H. C. Haryanto and S. A. Prahara, "PERUBAHAN IKLIM , SIAPA YANG BERTANGGUNG JAWAB ?," *Insight J. Ilm. Psikol.*, vol. 21, no. 2, pp. 50–61, 2019.
- [2] Susilawati, "Dampak perubahan iklim terhadap kesehatan," *e-SEHAD*, vol. 1, no. 2, pp. 25–31, 2016.
- [3] A. Nurlatifah, R. B. Hatmaja, and A. A. Rakhman, "Analisis Potensi Kejadian Curah Hujan Ekstrem di Masa Mendatang Sebagai Dampak dari Perubahan Iklim di Pulau Jawa Berbasis Model Iklim Regional Conformal Cubic Atmospheric Model," *J. ILMU Lingkung.*, vol. 21, no. 4, pp. 980–986, 2023, doi: 10.14710/jil.21.4.980-986.
- [4] M. Ariska, H. Akhsan, M. Muslim, M. Romadoni, and F. S. Putriyani, "Prediksi Perubahan Iklim Ekstrem di Kota Palembang dan Kaitannya dengan Fenomena El Niño-Southern Oscillation (ENSO) Berbasis Machine Learning," *JIPFRI (Jurnal Inov. Pendidik. Fis. dan Ris. Ilmiah)*, vol. 6, no. 2, pp. 79–86, 2022.
- [5] R. Hadiansyah, A. L. Indranata, A. K. Silitonga, and P. A. Winarso, "KAJIAN KONDISI ATMOSFER SAAT KEJADIAN HUJAN EKSTREM DI PADANG SUMATERA BARAT (STUDI KASUS TANGGAL 14 FEBRUARI 2018)," *Pros. SNFA (Seminar Nas. Fis. dan Apl. 2018)*, pp. 246–257, 2018.
- [6] L. A. Agustina, A. M. Lubis, and W. S. Pranowo, "Analisis Kejadian Banjir ROB di Provinsi Bengkulu Periode 2022-2024," *J. Kelaut. Trop.*, vol. 28, no. 1, pp. 25–34, 2025.

- [7] BMKG, “Prospek Cuaca Mingguan Periode 28 November–4 Desember 2025: Siklon Tropis ‘SENYAR’ Puna, Gelombang Atmosfer Pengaruhi Cuaca Signifikan di Indonesia.” Accessed: Jan. 31, 2026. [Online]. Available: <https://www.bmkg.go.id/cuaca/prospek-cuaca-mingguan/prospek-cuaca-mingguan-periode-28-november-04-desember-2025-siklon-tropis-senyar-puna-gelombang-atmosfer-pengaruhi-cuaca-signifikan-di-indonesia>
- [8] ridhamtekno.com, “Mengenal Stasiun Cuaca dan Cara Kerjanya.” Accessed: Sep. 10, 2025. [Online]. Available: <https://ridhamtekno.com/mengenal-stasiun-cuaca-dan-cara-kerjanya/>
- [9] J. A. Brotzge *et al.*, “Challenges and Opportunities in Numerical Weather Prediction,” *Am. Meteorol. Soc.*, pp. 698–705, 2023.
- [10] D. A. H. Panggabean, F. M. Sihombing, and N. M. Aruan, “Prediksi Tinggi Curah Hujan Dan Kecepatan Angin Berdasarkan Data Cuaca Dengan Penerapan Algoritma Artificial Neural Network (Ann),” *Seminastika*, vol. 3, no. 1, pp. 1–7, 2021, doi: 10.47002/seminastika.v3i1.237.
- [11] Nugraha, “Evaluasi Prediksi Curah Hujan dengan Algoritma Backpropagation di BMKG Cilacap,” *Zo. J. Sist. Inf.*, vol. 2, no. 2, pp. 96–109, 2020.
- [12] K. Halim, D. Erny Herwindiati, and T. Sutrisno, “Penerapan Metode Decision Tree Untuk Prakiraan Cuaca Kota Bekasi,” *J. Ilmu Komput. dan Sist. Inf.*, vol. 11, no. 2, pp. 1–5, 2023, doi: 10.24912/jiksi.v11i2.26026.
- [13] I. Risnawati *et al.*, “Klasifikasi Data Mining Untuk Mengestimasi Potensi Curah Hujan Berdampak Banjir Daerah Menggunakan Algoritma C4.5,” *J. Insa. (Journal Inf. Syst. Manag. Innov.)*, vol. 3, no. 2, pp. 78–84, 2023.
- [14] Z. A. Dwiyantri and C. Prianto, “Prediksi Cuaca Kota Jakarta menggunakan Metode Random Forest : Studi Optimalitas,” *J. Tekno Insentif*, vol. 17, no. 2, pp. 127–137, 2023, [Online]. Available: <https://doi.org/10.36787/jti.v17i2.1136%0A%7C>
- [15] H. Ding, H. Hou, L. Wang, X. Cui, W. Yu, and D. I. Wilson, “Application of Convolutional Neural Networks and Recurrent Neural Networks in Food Safety,” *Foods*, vol. 14, no. 2, pp. 1–37, 2025, doi: 10.3390/foods14020247.
- [16] M. N. Aslam, S. Surejo, and E. U. S. Utami, “Penerapan Metode Fuzzy Mamdani dalam Prediksi Cuaca di Tegal,” *RIGGS J. Artif. Intell. Digit. Bus.*, vol. 4, no. 3, pp. 2574–2582, 2025, doi: 10.31004/riggs.v4i3.2357.
- [17] H. D. Bhakti and H. Abror, “Aplikasi Adaptive Neuro Fuzzy System (ANFIS) Untuk Memprediksi Kebutuhan Gas Bumi Indonesia,” *JTIM J. Teknol. Inf. dan Multimed.*, vol. 4, no. 2, pp. 73–84, 2022, doi: 10.35746/jtim.v4i2.198.
- [18] M. I. Azhar and W. F. Mahmudy, “Prediksi Curah Hujan Menggunakan Adaptive Neuro Fuzzy Inference Sytem (ANFIS),” *e-Proceeding Eng.*, vol. 2, no. 11, pp. 1860–1867, 2015.
- [19] R. D. Rusdian Yusron and M. M. Huda, “Analisis Perancangan Sistem Informasi Perpustakaan Menggunakan Model Waterfall Dalam Peningkatan Inovasi Teknologi,” *J. Autom. Comput. Inf. Syst.*, vol. 1, no. 1, pp. 26–36, 2021, doi: 10.47134/jacis.v1i1.4.