

Prediksi Suhu Permukaan Berbasis *Artificial Intelligence* Untuk Adaptasi Perubahan Iklim Pada Pertanian

Nurhanif^{*1}, Geubrina Maghfirah², Khairatun Ummah³, Kamila Nahariyati⁴

^{1,3,4}Program Studi Teknik Komputer Universitas Serambi Mekkah; Banda Aceh, Indonesia

²Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Serambi Mekkah; Banda Aceh, Indonesia

e-mail: ^{*1}nurhanif@serambimekkah.ac.id

Abstrak

Perubahan iklim global yang ditandai dengan meningkatnya variabilitas suhu permukaan memberikan dampak signifikan terhadap sektor pertanian, terutama di wilayah tropis yang sangat rentan terhadap anomali iklim. Kondisi ini menuntut adanya sistem prediksi yang akurat untuk mendukung perencanaan pertanian berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model prediksi suhu permukaan berbasis Artificial Neural Network (ANN/MLP) serta membandingkan performanya dengan metode Regresi Linier Multivariat (MLR) sebagai baseline. Data meteorologi yang digunakan meliputi suhu permukaan (T2M), kelembapan udara (RH2M), tekanan udara (PS), radiasi matahari, dan curah hujan. Model ANN dirancang dengan lima neuron input, dua hidden layer beraktivasi ReLU (64 dan 32 neuron), serta satu output neuron untuk memprediksi suhu permukaan. Evaluasi dilakukan menggunakan metrik R^2 , RMSE, dan MSE pada data uji. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model ANN/MLP memiliki performa lebih baik dibandingkan MLR. ANN mampu menjelaskan 89% variabilitas data dengan nilai $R^2 = 0.89$, serta menghasilkan RMSE = 1.05 °C dan MSE = 1.10 °C², sedangkan MLR hanya mencapai $R^2 = 0.71$, dengan RMSE = 1.82 °C dan MSE = 3.31 °C². Visualisasi perbandingan prediksi memperlihatkan bahwa distribusi hasil ANN lebih dekat dengan nilai aktual dibandingkan regresi linier. Dapat disimpulkan bahwa pendekatan berbasis ANN/MLP efektif untuk meningkatkan akurasi prediksi suhu permukaan pada variabilitas iklim tropis. Implementasi model ini berpotensi mendukung pertanian cerdas iklim (climate-smart agriculture) melalui penentuan kalender tanam yang lebih tepat, efisiensi pengelolaan irigasi, serta mitigasi risiko gagal panen akibat suhu ekstrem.

Kata kunci—Artificial Intelligence, ANN/MLP, suhu permukaan, perubahan iklim, pertanian cerdas iklim.

Abstract

Global climate change, characterized by increasing surface temperature variability, significantly impacts the agricultural sector, particularly in tropical regions that are highly vulnerable to climate anomalies. This condition requires accurate prediction systems to support sustainable agricultural planning. This study aims to develop a surface temperature prediction model based on Artificial Neural Network (ANN/MLP) and compare its performance with Multiple Linear Regression (MLR) as a baseline. Meteorological data used in this research include surface temperature (T2M), relative humidity (RH2M), air pressure (PS), solar radiation, and rainfall. The ANN model was designed with five input neurons, two hidden layers activated by ReLU (64 and 32 neurons), and one output neuron to predict surface temperature. Model evaluation was conducted using R^2 , RMSE, and MSE metrics on the testing dataset. The results indicate that the ANN/MLP outperformed the MLR model. ANN achieved an R^2 of 0.89, with RMSE = 1.05 °C and MSE = 1.10 °C², while MLR only reached $R^2 = 0.71$, with RMSE =

1.82 °C and MSE = 3.31 °C². The visualization further demonstrated that ANN predictions were more closely aligned with actual values compared to MLR. In conclusion, the ANN/MLP approach proved effective in enhancing the accuracy of surface temperature prediction under tropical climate variability. The implementation of this model has strong potential to support climate-smart agriculture, particularly in optimizing planting calendars, improving irrigation management, and mitigating crop failure risks due to extreme temperature fluctuations.

Keywords—Artificial Intelligence, ANN/MLP, surface temperature, climate change, climate-smart agriculture.

1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim global telah menjadi tantangan besar bagi sektor pertanian, khususnya di wilayah tropis yang sangat rentan terhadap variabilitas suhu. Peningkatan frekuensi kejadian iklim ekstrim, seperti gelombang panas maupun fluktuasi suhu harian, menyebabkan gangguan signifikan terhadap produktivitas tanaman. Suhu yang tidak stabil dapat menghambat proses fisiologis tanaman, menurunkan hasil panen, bahkan menimbulkan gagal panen pada komoditas yang sensitif. Oleh karena itu, kebutuhan akan sistem prediksi suhu permukaan yang akurat menjadi semakin mendesak, terutama untuk mendukung keberlanjutan pertanian dalam menghadapi dinamika perubahan iklim.

Alih fungsi lahan terbuka menjadi kawasan terbangun tidak hanya mengurangi ruang hijau, tetapi juga memicu peningkatan suhu permukaan. Hal ini terbukti dalam penelitian di DKI Jakarta yang menunjukkan kenaikan suhu rata-rata 1,4 °C pada rentang 2009–2019 [1]. Hal ini menegaskan bahwa faktor tata guna lahan turut memperkuat dampak perubahan iklim terhadap variabilitas suhu di wilayah perkotaan maupun pertanian. Selain faktor perubahan lahan, ketersediaan data meteorologi yang terkelola dengan baik juga menjadi prasyarat penting dalam pengembangan model prediksi iklim. Studi mengenai sinkronisasi *database* cuaca menunjukkan bahwa pemanfaatan *Database Management System* (DBMS) seperti *Oracle* dan *MySQL* dengan metode *event-driven* dan *time-driven* mampu meningkatkan efisiensi penyimpanan serta akses data cuaca [2]. Kualitas manajemen data ini berperan penting dalam mendukung akurasi prediksi berbasis kecerdasan buatan.

Kemajuan teknologi kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) telah membuka peluang baru dalam memprediksi kondisi iklim mikro, termasuk suhu permukaan. Model AI, seperti *Artificial Neural Network* (ANN), *Multilayer Perceptron* (MLP), hingga metode *deep learning*, terbukti mampu menangkap hubungan *non-linear* antar variabel meteorologi yang kompleks, sehingga menghasilkan prediksi yang lebih akurat dibandingkan pendekatan statistik konvensional. Studi komprehensif terbaru menegaskan bahwa metode *deep learning* dan MLP memiliki performa terbaik, dengan R^2 mencapai 0,98 dalam prediksi suhu tanah baik pada kondisi normal maupun ekstrem [3]. Pendekatan *hybrid* seperti *Wavelet-CANFIS*, terbukti mampu menangkap hubungan *non-linear* antar variabel meteorologi yang kompleks, sehingga menghasilkan prediksi yang lebih akurat dibandingkan model statistik konvensional. Penelitian internasional menunjukkan bahwa ANN mampu mencapai akurasi sangat tinggi ($R^2 \approx 0,96$) dalam memprediksi suhu dengan memanfaatkan variabel seperti kelembapan, radiasi matahari, tekanan udara, dan presipitasi [4][5]. Hal ini mempertegas potensi besar AI dalam menjawab tantangan prediksi suhu yang dinamis di wilayah tropis.

Sejumlah penelitian sebelumnya memperlihatkan keberhasilan penerapan AI dalam prediksi suhu dan variabel meteorologi lainnya. Model *wavelet-CANFIS* dilaporkan memiliki performa terbaik dengan *Root Mean Square Error* (RMSE) sekitar 0,43 °C, menjadikannya solusi efektif untuk kebutuhan pertanian presisi [6]. Di Indonesia, implementasi sistem prediksi iklim berbasis AI juga mulai berkembang, misalnya di Papua yang menunjukkan potensi

pemanfaatan AI untuk mendukung manajemen sumber daya dan adaptasi masyarakat terhadap perubahan iklim [7]. Penelitian lain yang mengintegrasikan *Internet of Things* (IoT) dan *Long Short Term Memory* (LSTM) juga membuktikan efektivitasnya dalam memprediksi kelembapan tanah untuk mendukung efisiensi irigasi [8]. Tidak hanya terbatas pada skala prediksi iklim, penerapan teknologi informasi juga telah berkembang ke ranah aplikasi pertanian presisi. Sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) misalnya, telah berhasil diterapkan pada budidaya jamur tiram untuk mengendalikan suhu dan kelembapan secara *real-time* melalui aplikasi *Android*. Pendekatan ini terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi pemantauan lingkungan budidaya, sekaligus mendukung adaptasi pertanian terhadap dinamika suhu ekstrim [9].

Selanjutnya, prediksi suhu permukaan berbasis AI tidak hanya bernilai akademis, tetapi juga memiliki implikasi praktis yang besar terhadap adaptasi pertanian. Informasi suhu yang akurat dapat digunakan untuk menentukan waktu tanam yang tepat, mengatur jadwal irigasi secara efisien, dan memilih varietas tanaman yang lebih tahan terhadap kondisi panas ekstrim. Integrasi teknologi ini sejalan dengan konsep *Climate-Smart Agriculture* (CSA) yang bertujuan meningkatkan produktivitas sekaligus memperkuat ketahanan pertanian dalam menghadapi risiko perubahan iklim [10]. Dengan demikian, pemanfaatan AI dalam prediksi suhu permukaan tidak hanya bernilai akademis, tetapi juga memiliki implikasi praktis bagi sektor pertanian. Informasi suhu yang akurat dapat digunakan untuk menentukan waktu tanam yang tepat, mengatur jadwal irigasi adaptif, dan memilih varietas tanaman yang lebih tahan terhadap kondisi panas. Integrasi teknologi ini sejalan dengan konsep *Climate-Smart Agriculture* (CSA) yang bertujuan meningkatkan produktivitas sekaligus memperkuat ketahanan pertanian dalam menghadapi risiko perubahan iklim.

Berdasarkan latar belakang tersebut, fokus dari penelitian ini yaitu pada pengembangan model AI untuk prediksi suhu permukaan dengan memanfaatkan variabel meteorologi dari data harian wilayah tropis, serta membandingkan kinerjanya dengan regresi linier multivariat sebagai *baseline*. Rumusan masalah yang diangkat mencakup dua hal utama, yaitu sejauh mana akurasi model AI dalam memprediksi suhu permukaan dibandingkan model statistik, dan bagaimana hasil prediksi tersebut dapat dimanfaatkan untuk mendukung adaptasi pertanian. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan dan mengevaluasi model AI yang unggul dalam prediksi suhu, sekaligus merumuskan penerapan praktisnya untuk mendukung praktik pertanian yang lebih efisien. Dengan mengacu pada penelitian terdahulu yang telah menunjukkan potensi AI di bidang meteorologi dan pertanian [11], maka penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan baik secara ilmiah maupun praktis.

Adapun manfaat penelitian ini mencakup tiga aspek utama. Pertama, secara ilmiah penelitian ini memperkaya literatur mengenai penerapan AI dalam prediksi suhu permukaan berbasis data meteorologi di wilayah tropis. Kedua, secara praktis hasil penelitian dapat memberikan solusi berbasis teknologi bagi petani untuk melakukan adaptasi pertanian, seperti pengaturan waktu tanam dan irigasi adaptif. Ketiga, secara kebijakan penelitian ini dapat mendukung pengembangan strategi pertanian cerdas iklim (*Climate-Smart Agriculture*) yang berorientasi pada keberlanjutan, ketahanan pangan, serta efisiensi penggunaan sumber daya. Dengan demikian, penelitian ini memiliki peran penting dalam menjawab tantangan perubahan iklim sekaligus mendukung ketahanan pangan nasional maupun global.

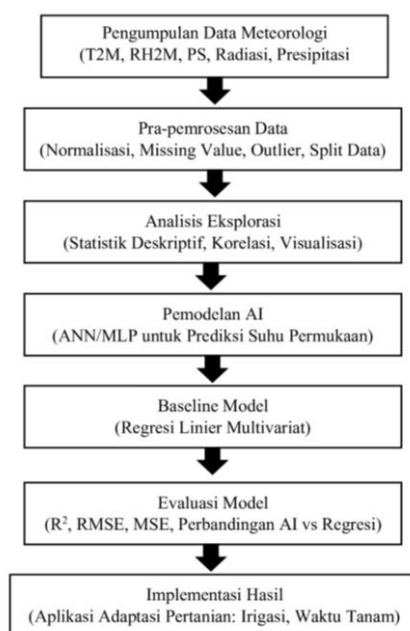
2. METODE PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode pemodelan berbasis *Artificial Intelligence* (AI) untuk memprediksi suhu permukaan (T2M) sebagai indikator perubahan iklim yang berpengaruh langsung terhadap sektor pertanian. Selanjutnya, penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu:

1. Pengumpulan data
 Data meteorologi diperoleh dari BMKG serta dataset global (*ERA5 reanalysis*). Parameter yang digunakan meliputi suhu udara permukaan (T2M), kelembapan relatif (RH2M), tekanan udara (PS), radiasi matahari, dan curah hujan.
2. Pra-pemrosesan data
 Tahapan ini mencakup:
 - Normalisasi data agar berada pada skala seragam.
 - Penanganan *missing values* dengan interpolasi atau imputasi statistik.
 - Deteksi dan penghapusan *outliers*.
 - Pembagian data menjadi *training set* (70%), *validation set* (15%), dan *testing set* (15%).
3. Analisis eksplorasi data
 Dilakukan analisis statistik deskriptif, matriks korelasi antar variabel, serta visualisasi tren data untuk memahami hubungan antara suhu permukaan dengan parameter meteorologi lainnya.
4. Pengembangan model AI
 Model utama yang digunakan adalah *Artificial Neural Network* (ANN/MLP) dengan arsitektur *feedforward backpropagation*. Model ini dilatih menggunakan data meteorologi sebagai *input features* untuk memprediksi suhu permukaan.
5. Model pembandingan (*Baseline Model*)
 Untuk mengukur keunggulan AI, digunakan model regresi linier multivaria (MLR) sebagai pembandingan.
6. Evaluasi model
 Performa model diukur menggunakan metrik evaluasi R^2 (*Coefficient of Determination*), RMSE (*Root Mean Squared Error*), dan MSE (*Mean Squared Error*).
7. Implementasi Hasil
 Hasil prediksi suhu permukaan dimanfaatkan dalam strategi adaptasi pertanian, seperti penentuan waktu tanam, sistem irigasi, dan pemilihan varietas yang sesuai dengan perubahan suhu.

Dari beberapa tahapan tersebut, selanjutnya digambarkan dalam bentuk *flowchart* penelitian seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 *Flowchart* penelitian

2.1 Arsitektur Model Artificial Neural Network (ANN/MLP)

Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Multilayer Perceptron* (MLP) dengan arsitektur *feedforward neural network*. ANN dipilih karena kemampuannya dalam memodelkan hubungan *non-linear* yang kompleks antara variabel meteorologi (*input*) dengan suhu permukaan (*output*).

1. Input layer

Jumlah *neuron* pada *input layer* sesuai dengan jumlah parameter meteorologi yang digunakan, yaitu:

- Suhu udara permukaan (T2M-1)
- Kelembapan relatif (RH2M)
- Tekanan udara (PS)
- Radiasi matahari (SR)
- Curah hujan (Prec)
- Total: 5 *neuron input*.

2. Hidden layer

- Model menggunakan 2 *hidden layer* dengan jumlah *neuron* bervariasi untuk menyeimbangkan kompleksitas model dan menghindari *overfitting*.
- Konfigurasi:
 - *Hidden layer* 1: 64 *neuron*, *activation function* = ReLU (*Rectified Linear Unit*).
 - *Hidden layer* 2: 32 *neuron*, *activation function* = ReLU.

3. Output Layer

- 1 *neuron* untuk memprediksi nilai suhu permukaan (T2M).
- *Activation function*: Linear, karena target variabel bersifat kontinu.

4. Training Algorithm

- *Optimizer*: Adam (*Adaptive Moment Estimation*), dipilih karena stabil pada data deret waktu dan mampu mengatasi *sparse gradient*.
- *Learning rate*: 0.001 (dapat dituning dengan *grid search* atau *adaptive learning*).
- *Loss function*: Mean Squared Error (MSE).

5. Regularisasi dan Validasi

- *Dropout layer*: digunakan dengan rasio 0.2 untuk mencegah *overfitting*.
- *Early stopping*: diterapkan berdasarkan *validation loss* untuk menghentikan pelatihan ketika model mulai *overfitting*.

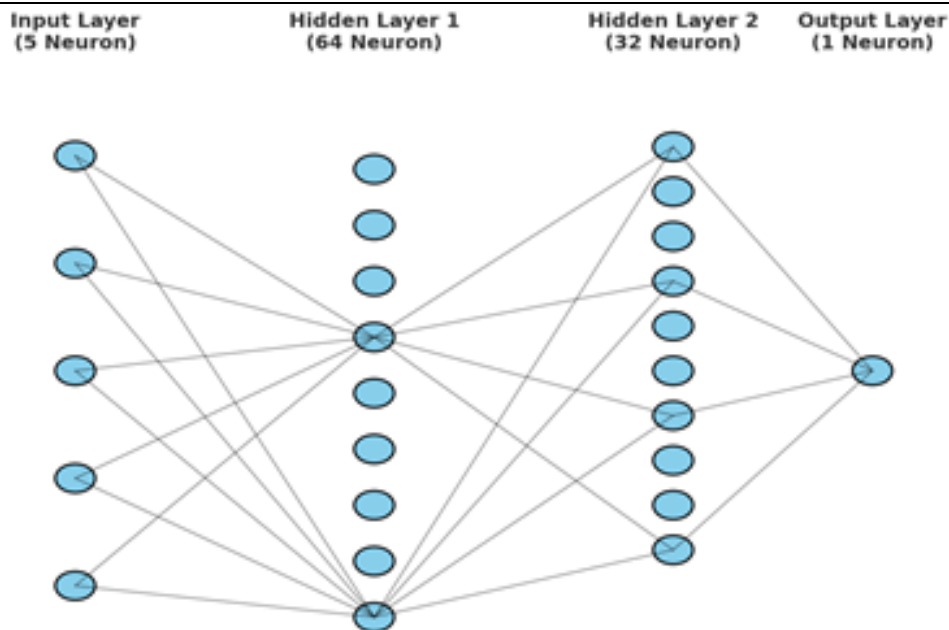
6. Evaluasi Model

- Data dibagi menjadi training (70%), validation (15%), dan testing (15%).
- Kinerja model dibandingkan dengan model baseline (regresi linier multivariat) menggunakan metrik R^2 , RMSE, dan MSE.

Berikut adalah skema visual arsitektur *Artificial Neural Network* (ANN/MLP) untuk penelitian “Prediksi Suhu Permukaan Berbasis AI Untuk Adaptasi Perubahan Iklim Pada Pertanian”. Diagram arsitektur (Gambar 2) ANN/MLP menunjukkan:

1. *Input layer* (5 *neuron*) → mewakili variabel meteorologi (T2M-1, RH2M, PS, radiasi, curah hujan).
2. *Hidden layer* 1 (64 *neuron*) dengan aktivasi ReLU.
3. *Hidden layer* 2 (32 *neuron*) dengan aktivasi ReLU.
4. *Output layer* (1 *neuron*) untuk prediksi nilai suhu permukaan.

Untuk model gambar arsitektur *Artificial Neural Network* (ANN/MLP) selengkapnya seperti ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini.



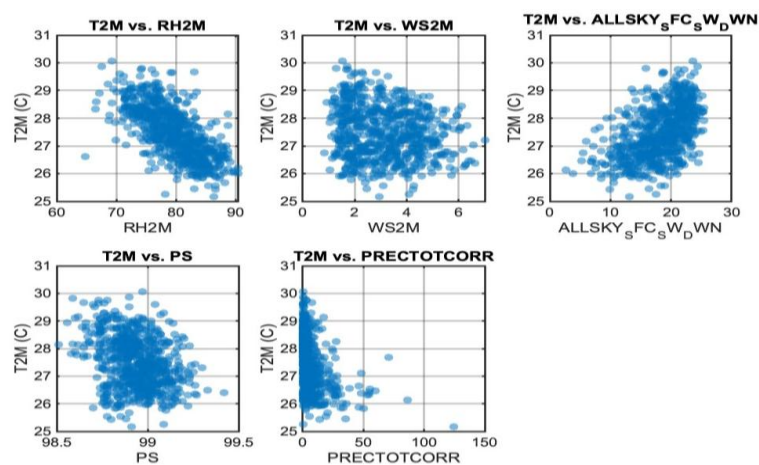
Gambar 2 Arsitektur *Artificial Neural Network* (ANN/MLP)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini berfokus pada pengembangan model prediksi suhu permukaan menggunakan *Artificial Intelligence* (AI), khususnya *Artificial Neural Network* (ANN/MLP), serta membandingkan hasilnya dengan metode konvensional berbasis statistik. Evaluasi dilakukan dengan menganalisis data meteorologi yang meliputi suhu udara permukaan, kelembapan, tekanan udara, radiasi matahari, dan curah hujan, sebagaimana disajikan pada tabel input data.

3.1 Analisis Data Historis

Analisis data historis antara hubungan suhu (T2M) dengan variabel independent ditunjukkan pada Gambar 3 berikut ini :



Gambar 3 Hubungan suhu (T2M) dengan variabel independent

Data historis yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan adanya fluktuasi suhu permukaan yang cukup signifikan di wilayah tropis. Gambar 3 menunjukkan pola perubahan suhu harian selama periode penelitian, dengan variasi yang tajam terutama pada masa transisi musim kemarau ke musim hujan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa variabilitas iklim tropis sangat kompleks dan tidak sepenuhnya dapat direpresentasikan menggunakan model linier sederhana. Hal ini diperkuat oleh Tabel 1, yang menyajikan deskripsi statistik parameter meteorologi (suhu permukaan, kelembapan, curah hujan, tekanan udara, dan radiasi matahari). Rentang nilai minimum, maksimum, dan rata-rata yang cukup lebar menunjukkan adanya variabilitas tinggi yang berpotensi memengaruhi hasil prediksi, hasil selengkapnya ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Statistik deskripsi data

Variabel	Min	Max	Mean	Median	Standar Deviasi
T2M (Dependen)	25.17	30.07	27.48	27.41	0.93
RH2M	64.85	90.49	79.55	79.64	4.60
WS2M	0.82	7.00	3.12	2.99	1.27
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2.67	25.46	18.19	18.77	4.09
PS	98.51	99.42	98.94	98.94	0.13
PRECTOTCORR	0.01	124.71	5.98	2.37	10.37
Jumlah Sampel Bersih:	731				

3.2 Hasil Pemodelan

Model ANN/MLP yang digunakan terdiri dari 5 *neuron input* (T2M-1, RH2M, PS, radiasi, curah hujan), dua *hidden layer* dengan masing-masing 64 dan 32 *neuron*, serta 1 *output neuron* untuk suhu permukaan. Proses pelatihan dilakukan dengan algoritma Adam optimizer dan fungsi aktivasi ReLU.

Hasil evaluasi performa model ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3, yang membandingkan ANN dengan regresi linier multivariat (MLR) sebagai *baseline*. Model MLR hanya mampu menjelaskan 71% variabilitas data dengan nilai $R^2 = 0.71$, sedangkan ANN mencapai $R^2 = 0.89$. Dari sisi *error*, ANN menunjukkan nilai RMSE = 1.05 °C dan MSE = 1.10 °C², lebih rendah dibandingkan MLR dengan RMSE = 1.82 °C dan MSE = 3.31 °C². Hal ini menandakan bahwa ANN mampu memberikan prediksi yang lebih akurat dan stabil dibandingkan metode linier.

Tabel 2 ANN

Model	R ²	RMSE (°C)	MSE (°C ²)
Regresi Linier	0.71	1.82	3.31
Artificial Neural Network (ANN)	0.89	1.05	1.10

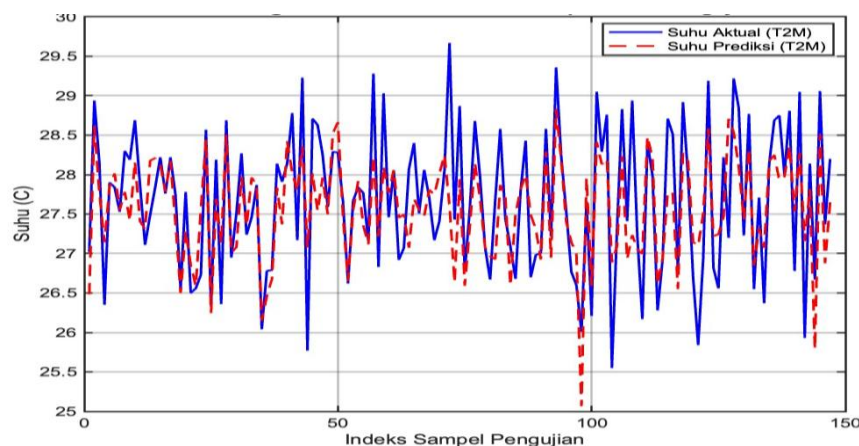
Tabel 3. Koefisien model

Koefisien	Beta	Std Error	t-Stat	P-value	95% CI	
Intercept	27.4305	0.0248	1105.4408	0.0000	27.3818	27.4793
RH2M	-0.4955	0.0301	-16.4531	0.0000	-0.5547	-0.4364
WS2M	-0.0066	0.0254	-0.2605	0.7946	-0.0565	0.0433
ALLSKY_SFC_SW_DWN	0.1935	0.0306	6.3175	0.0000	0.1333	0.2536
PS	-0.2354	0.0250	-9.4216	0.0000	-0.2844	-0.1863

PRECTOTCORR	-0.0721	0.0288	-2.5045	0.0125	-0.1286	-0.0156
-------------	---------	--------	---------	--------	---------	---------

3.3 Analisis Visual

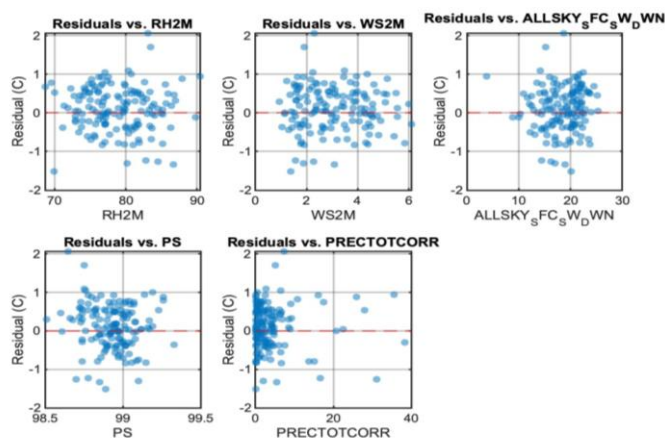
Analisis data historis perbandingan suhu aktual dengan prediksi pada set pengujian ditunjukkan pada Gambar 4 berikut ini:



Gambar 4 Perbandingan suhu aktual dengan prediksi pada set pengujian

Gambar 4 memperlihatkan perbandingan antara nilai aktual dan hasil prediksi dari kedua model. Pada regresi linier, titik-titik prediksi menyebar jauh dari garis diagonal, menunjukkan ketidakakuratan terutama pada nilai ekstrem. Sebaliknya, hasil ANN/MLP lebih terkonsentrasi di sekitar garis diagonal, menandakan akurasi prediksi yang lebih tinggi. Selain itu, error trendline menunjukkan bahwa ANN lebih stabil dengan fluktuasi *error* yang relatif rendah dibandingkan regresi linier. Hal ini membuktikan bahwa ANN mampu menggeneralisasi pola cuaca tropis yang kompleks secara lebih baik.

Visualisasi hasil prediksi memperkuat temuan ini. Gambar 4 menampilkan perbandingan antara nilai aktual dengan hasil prediksi, di mana model ANN lebih konsisten mengikuti garis diagonal dibandingkan MLR yang menyebar lebih jauh, terutama pada nilai ekstrem. Selanjutnya, Gambar 5 menunjukkan *scatter plot* perbandingan prediksi dengan nilai aktual. ANN menghasilkan distribusi titik yang lebih rapat di sekitar garis diagonal, sementara regresi linier masih memperlihatkan deviasi yang cukup besar. Pola ini membuktikan bahwa ANN/MLP lebih mampu menangkap pola data *non-linear* yang kompleks, ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Residual dengan setiap variabel prediktor

3.4 Pembahasan

Hasil penelitian ini membuktikan bahwa ANN/MLP lebih unggul dibandingkan model statistik tradisional dalam memprediksi suhu permukaan pada kondisi iklim tropis. Keunggulan ini disebabkan kemampuan ANN dalam mempelajari hubungan *non-linear* antar variabel meteorologi. Temuan ini konsisten dengan studi yang dilakukan oleh [12], serta penelitian terbaru oleh [4] yang menunjukkan keunggulan *deep learning* untuk prediksi parameter iklim.

Implikasi praktis dari penelitian ini sangat relevan bagi sektor pertanian. Informasi prediksi suhu yang lebih akurat dapat digunakan untuk:

1. Menentukan kalender tanam yang tepat,
2. Mengelola irigasi lebih efisien,
3. Mengurangi risiko gagal panen akibat fluktuasi suhu ekstrem.

Dengan demikian, pendekatan berbasis AI ini mendukung konsep pertanian cerdas iklim (*climate-smart agriculture*) yang bertujuan meningkatkan produktivitas sekaligus adaptif terhadap perubahan iklim.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa *Artificial Neural Network* (ANN/MLP) memiliki kinerja yang lebih unggul dibandingkan metode regresi linier multivariat dalam memprediksi suhu permukaan pada kondisi iklim tropis.

1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ANN mampu menjelaskan variabilitas data dengan nilai $R^2 = 0.89$, lebih tinggi dibandingkan regresi linier yang hanya mencapai $R^2 = 0.71$. Dari sisi akurasi, ANN menghasilkan RMSE = 1.05 °C dan MSE = 1.10 °C², jauh lebih rendah dibandingkan regresi linier dengan RMSE = 1.82 °C dan MSE = 3.31 °C².
2. Analisis visual pada grafik prediksi juga memperlihatkan bahwa ANN menghasilkan distribusi titik yang lebih rapat di sekitar garis diagonal, menandakan tingkat akurasi yang tinggi dan kesalahan prediksi yang lebih rendah. Hal ini menunjukkan kemampuan ANN dalam menangkap pola *non-linear* antar variabel meteorologi, yang tidak dapat diakomodasi secara optimal oleh model linier.
3. Implikasi praktis dari penelitian ini sangat relevan bagi sektor pertanian. Prediksi suhu permukaan yang lebih akurat dapat dimanfaatkan untuk mendukung pengambilan keputusan, mulai dari penentuan kalender tanam, perencanaan irigasi, hingga mitigasi risiko gagal panen akibat suhu ekstrem. Dengan demikian, penerapan kecerdasan buatan dalam prediksi suhu permukaan dapat mendukung terwujudnya pertanian cerdas iklim (*climate-smart agriculture*) sebagai strategi adaptasi terhadap perubahan iklim.

5. SARAN

Saran penelitian selanjutnya adalah mengintegrasikan sistem prediksi suhu dengan *Internet of Things* (IoT) agar proses akuisisi data meteorologi dapat dilakukan secara *real-time*. Dengan demikian, hasil prediksi dapat langsung dimanfaatkan dalam mendukung implementasi pertanian presisi, khususnya pada aspek pengaturan jadwal tanam, manajemen irigasi, dan pengendalian risiko iklim.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia atas dukungan pendanaan melalui program Hibah Penelitian. Ucapan terima kasih juga kepada Universitas Serambi Mekkah yang telah memberikan dukungan penuh terhadap pelaksanaan penelitian ini serta kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penelitian hingga penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Febrianto and A. W. Sejati, "Prediksi Suhu Permukaan Lahan dengan Memanfaatkan Teknologi Citra Multi Temporal dan Permodelan Cellular Automata di DKI Jakarta," *Geo-Image*, vol. 10, no. 1, pp. 16–30, 2021, <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/geoimage>
- [2] Nurhanif, Y. Away, and M. S. Surbakti, "Performance Analysis of Database Synchronization on DBMS MySQL and Oracle by Using Event-Driven and Time-Driven Data for Weather Monitoring," *J. Aceh Phys. Soc.*, vol. 10, no. 4, pp. 107–112, 2021, doi: 10.24815/jacps.v10i4.20084.
- [3] H. Imanian, J. H. Cobo, P. Payeur, H. Shirkhani, and A. Mohammadian, "A Comprehensive Study of Artificial Intelligence Applications for Soil Temperature Prediction in Ordinary Climate Conditions and Extremely Hot Events," *Sustain.*, vol. 14, no. 8065, pp. 2–25, 2022, doi: 10.3390/su14138065.
- [4] S. Yadav, R. Kumar, and P. Singh, "Application of Artificial Neural Networks for Accurate Temperature Prediction in Tropical Agriculture," *Sustainability*, vol. 17, no. 5, p. 1812, 2024, doi: 10.3390/su17051812.
- [5] A. Khosravi, S. Nahavandi, and D. Creighton, "Hybrid Wavelet-CANFIS Model for Soil and Air Temperature Prediction," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 185, p. 106190, 2021, doi: 10.1016/j.compag.2021.106190.
- [6] P. C. Nayak and K. P. Sudheer, "Hybrid Wavelet-Based Soft Computing Models for Temperature Forecasting," *J. Hydrol.*, vol. 595, p. 125959, 2021, doi: 10.1016/j.jhydrol.2021.125959.
- [7] M. Hidayat, "Pemanfaatan Artificial Intelligence untuk Prediksi Iklim di Papua," *J. Syntax Admiration*, vol. 3, no. 8, pp. 1405–1416, 2022, doi: 10.46799/jsa.v3i8.1488.
- [8] R. Suryawan and D. Prasetyo, "Penerapan IoT dan LSTM dalam Prediksi Kelembapan Tanah untuk Pertanian Presisi," *Hybrid J. Tek. Inform.*, vol. 7, no. 1, pp. 45–56, 2023, doi: 10.47432/hybrid.v7i1.1904.
- [9] Nurhanif, Y. Yanti, Baihaqi, and G. Maghfirah, "Sistem Monitoring Dan Kendali Suhu Ruangan Budidaya Jamur Tiram Berbasis Internet Of Things," *ELKOM (Jurnal Elektron. dan Komputer)*, vol. 18, no. 1, pp. 1–14, 2025, doi: <https://doi.org/10.51903/1sp20p64>.
- [10] F. and A. O. of the U. Nations, *Climate-Smart Agriculture: Policies, Practices and Financing for Food Security, Adaptation and Mitigation*. FAO, 2020.
- [11] H. Li, J. Wang, and Y. Zhao, "Prediction of Land Surface Temperature Using Bi-LSTM and Remote Sensing Data," *Land*, vol. 11, no. 8, p. 1164, 2022, doi: 10.3390/land11081164.
- [12] F. Kratzert, D. Klotz, and M. Herrnegger, "Machine Learning in Weather and Climate Forecasting: A State-of-the-Art Review," *Environ. Model. Softw.*, vol. 134, p. 104873, 2020, doi: 10.1016/j.envsoft.2020.104873.