



Terbit *online* pada laman:

SEMINAR NASIONAL INOVASI, RISET, DAN TEKNOLOGI (SINERGI)



Original/Literature Review

PREDIKSI DAYA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DENGAN MODEL *HYBRID* ARIMA-ANN

Bagus Tri Kuncoro*, Radimas Putra Muhammad Davi Labib, Ade Ayu Rahmawati, Imam Herdiansyah Ramadhan, Steviany Ayu Pramesti

Universitas Negeri Jakarta, Jakarta Timur, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi : 20 September 2025

Revisi Akhir : 22 Oktober 2025

Diterbitkan Online : 27 Oktober 2025

KATA KUNCI

Hybrid ARIMA-ANN, prediksi, fotovoltaik

*KORESPONDENSI

E-mail: Bagus.Tri.Kuncoro@unj.ac.id

A B S T R A K

Teknologi fotovoltaik mampu mengubah sinar matahari menjadi energi listrik, namun produksinya dipengaruhi oleh fluktuasi cuaca yang dapat menimbulkan ketidakpastian output, mengganggu stabilitas dan penjadwalan sistem tenaga surya, serta memicu lonjakan tegangan dan aliran daya balik. Untuk mendukung perencanaan dan pengoperasian sistem tenaga listrik yang efektif, diperlukan model prakiraan PLTS yang optimal. Penelitian ini memprediksi daya keluaran PLTS menggunakan dua pendekatan peramalan deret waktu: model *hybrid* ARIMA-ANN dan model ANN tunggal. Model ARIMA dipilih karena kemampuannya menangani variabilitas data, meskipun belum banyak digunakan untuk prediksi daya fotovoltaik berbasis Python. Dataset mencakup data harian daya dan fitur-fitur seperti suhu, iradiasi, kecepatan angin, kelembapan dan tutupan awan, dengan pembagian 80% untuk pelatihan dan 20% untuk pengujian. Evaluasi dilakukan menggunakan MAE, RMSE dan MAPE. Hasil menunjukkan bahwa kombinasi ARIMA dan ANN dapat meningkatkan akurasi peramalan, dengan potensi besar dalam pengelolaan energi terbarukan. Temuan dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggabungan model deret waktu tradisional seperti ARIMA dengan model *machine learning* seperti ANN dapat meningkatkan akurasi peramalan daya fotovoltaik, yang mengindikasikan potensi besar dalam penerapannya untuk perencanaan dan pengelolaan sistem energi terbarukan.

No ISSN 3124-7539 © 2025 The Authors. Dipublikasi

oleh Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>)

Peer review under the responsibility of the scientific committee of the SINERGI

DOI: 10.21009/sinergi.v1i1.61384

1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah solusi utama untuk energi terbarukan di Indonesia karena lokasinya yang strategis. Namun, fluktuasi daya akibat kondisi cuaca menjadi tantangan besar, sehingga prediksi yang akurat sangat dibutuhkan untuk optimasi dan integrasi ke dalam jaringan listrik. Penelitian sebelumnya telah mengadopsi berbagai metode peramalan daya, seperti *Random Forest Regression* dan model regresi ARIMA. Pemodelan non-linear dapat dilakukan dengan *Artificial Neural Network (ANN)*, yang digunakan untuk prediksi jangka pendek. Untuk data yang kompleks, diperlukan pendekatan yang lebih komprehensif, seperti model *hybrid ARIMA-ANN* yang menggabungkan kekuatan prediksi pola linear dan non-linear, sehingga memberikan hasil yang lebih baik daripada model tunggal [1].

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu solusi utama dalam penyediaan energi terbarukan di Indonesia, terutama karena letak geografisnya yang strategis dengan potensi radiasi matahari yang tinggi [2], [3]. Namun, fluktuasi daya keluaran akibat perubahan kondisi cuaca masih menjadi tantangan besar, sehingga diperlukan metode prediksi yang akurat untuk mendukung optimasi pemanfaatan energi serta integrasi ke dalam jaringan listrik nasional. Ketidakakuratan dalam peramalan daya tidak hanya menurunkan efisiensi sistem, tetapi juga dapat memengaruhi stabilitas jaringan listrik dan meningkatkan biaya operasional. Hal ini menunjukkan bahwa akurasi prediksi daya PLTS merupakan aspek yang sangat krusial dalam mendukung transisi energi bersih secara berkelanjutan [4], [5]. Seiring meningkatnya kebutuhan energi global yang ramah lingkungan, energi surya menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang paling potensial. Menurut *International Energy Agency (IEA)*, kapasitas pembangkit listrik tenaga surya mengalami peningkatan signifikan setiap tahun, menjadikannya salah satu pilar utama dalam transisi menuju sistem energi bersih. Akan tetapi, variabilitas energi surya yang dipengaruhi oleh faktor atmosfer, tutupan awan, suhu, serta kondisi meteorologis lainnya membuat daya keluaran PLTS sulit diprediksi secara konsisten [6], [7], [8]. Oleh karena itu, diperlukan metode peramalan yang mampu menangkap baik pola linier maupun non-linier dari data historis daya PLTS.

Pada penelitian sebelumnya [9] dijelaskan bahwa tutupan awan berperan dalam menurunkan intensitas radiasi matahari yang diterima oleh permukaan panel surya. Penambahan parameter ini sebagai input dalam model jaringan syaraf tiruan terbukti mampu meningkatkan akurasi prediksi daya keluaran fotovoltaik, karena tutupan awan secara langsung memengaruhi jumlah energi matahari yang dapat dikonversi menjadi listrik oleh panel surya. Dalam penelitian lain, model berbasis time series seperti *Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)*, terbukti efektif dalam memprediksi pola linier jangka pendek, sedangkan pendekatan machine learning seperti *Random Forest Regression* juga telah digunakan untuk estimasi daya PLTS [10], [11]. Namun, ARIMA memiliki keterbatasan dalam menangani data non-linier yang kompleks, khususnya ketika terjadi dinamika cuaca. Sebaliknya, *Artificial Neural Network (ANN)* mampu mengatasi ketidaklinieran dan kompleksitas hubungan antar variabel, sehingga sering diterapkan untuk prediksi jangka pendek [12], [13]. Meskipun demikian, penggunaan ANN secara tunggal seringkali membutuhkan data dalam jumlah besar dan rentan terhadap masalah *overfitting* [14], [15].

Penelitian ini menggunakan pendekatan model *hybrid ARIMA-ANN* yang menggabungkan keunggulan ARIMA dalam menangani pola linier dengan kemampuan ANN dalam memodelkan komponen non-linier untuk mengatasi keterbatasan dalam pemodelan daya fotovoltaik. Pendekatan ini diharapkan tidak hanya meningkatkan akurasi prediksi daya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), tetapi juga berkontribusi pada optimalisasi pengelolaan energi surya, khususnya dalam konteks integrasi PLTS ke dalam sistem *smart grid* yang berorientasi pada energi masa depan. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi dan membandingkan kinerja model *hybrid ARIMA-ANN* dengan model ANN tunggal dalam memprediksi daya fotovoltaik. Dengan memanfaatkan dataset yang mencakup berbagai fitur cuaca, kedua model dilatih dan dievaluasi untuk menghasilkan prediksi daya pada periode mendatang. Hasil perbandingan memberikan wawasan mengenai efektivitas pendekatan *hybrid* dalam meningkatkan akurasi prediksi daya fotovoltaik dibandingkan dengan pendekatan ANN tunggal.

2. METODE

2.1 Sumber Data dan Variabel Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan *hybrid forecasting* model dengan menggabungkan metode *Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)* dan *Artificial Neural Network (ANN)* untuk memprediksi daya keluaran panel surya. Data yang digunakan berupa data historis radiasi matahari, suhu dan daya keluaran panel surya yang diperoleh secara berkala dalam interval waktu tertentu. Data sekunder diambil dari situs *Kaggle*, yang merekam kondisi di Kerala, India, pada periode 1 Maret hingga 30 April 2024. Pemilihan India sebagai lokasi studi didasarkan pada statusnya sebagai salah satu negara penghasil emisi karbon dioksida terbesar di dunia, yang sebagian besar disebabkan oleh ketergantungannya terhadap pembangkit listrik tenaga batu bara [16].

2.2 Pembagian Data

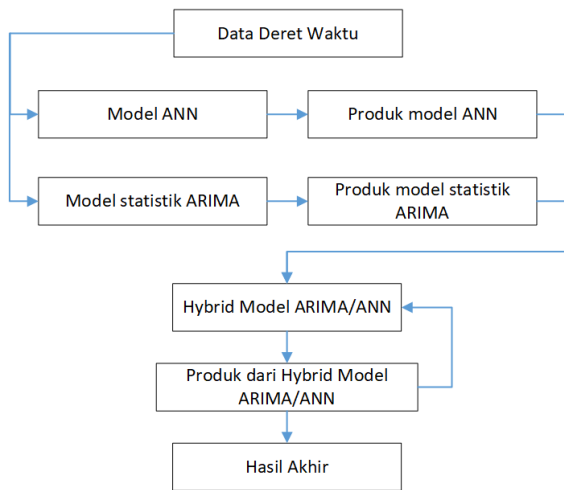
Pada Tabel 1, data dibagi menjadi dua set secara berurutan berdasarkan urutan waktu: set pelatihan dan set pengujian. Sebanyak 80% data awal digunakan sebagai set pelatihan untuk melatih model dan 20% data terakhir digunakan sebagai set pengujian untuk mengevaluasi kinerja model. Pembagian data secara berurutan ini penting untuk data deret waktu guna mensimulasikan skenario prediksi di dunia nyata.

Tabel 1. Dataset

Tanggal	Iradiasi (W/m ²)	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Kecepatan angin (mph)	Tutupan awan (%)	Daya (Watt)
01/03/2024	30,1	653,5	1,1	76,0	40,3	826,8
02/03/2024	30,5	587,7	2,3	74,5	70,3	239,6
03/03/2024	33,2	557,2	1,8	74,6	63,4	253,7
04/03/2024	33,4	401,3	2,4	87,0	51,3	908,7
05/03/2024	32,9	746,0	2,0	86,0	66,0	702,8
...
30/04/2024	28,2	538,1	1,4	79,2	74,0	681,1

2.3 Skema Model ARIMA-ANN Hybrid

Model *hybrid* ARIMA-ANN menggabungkan dua pendekatan untuk meningkatkan akurasi prediksi. ANN dilatih menggunakan fitur eksternal (suhu, iradiasi, kecepatan angin, kelembapan, tutupan awan) untuk menangkap hubungan non-linear, sedangkan ARIMA memodelkan pola temporal dari data daya historis. Prediksi dari kedua model digabungkan, misalnya dengan perataan sederhana, untuk menghasilkan prediksi *hybrid* yang lebih akurat. Kinerja model dievaluasi menggunakan metrik seperti MAE, RMSE dan MAPE. Dengan memanfaatkan kekuatan ARIMA dalam pola deret waktu dan ANN dalam hubungan non-linear, model *hybrid* mampu memberikan hasil yang lebih stabil dibandingkan model tunggal.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Tahapan penelitian dimulai dengan pra-pemrosesan data yang mencakup pembersihan data anomali, normalisasi dan pembagian data menjadi set pelatihan dan pengujian. Selanjutnya, model ARIMA digunakan untuk menangkap pola linier dalam data deret waktu, sedangkan ANN diterapkan untuk memodelkan komponen non-linier yang tidak dapat ditangani oleh ARIMA. Proses *hybrid* dilakukan dengan menggabungkan residu hasil prediksi ARIMA sebagai masukan tambahan ke dalam ANN untuk meningkatkan akurasi prediksi. Evaluasi kinerja model dilakukan dengan menggunakan metrik statistik seperti *Mean Absolute Error* (MAE), *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Validasi model dilakukan melalui skema *k-fold cross validation* untuk memastikan generalisasi prediksi terhadap data baru.

2.4 Model Prediksi

Dalam penelitian ini, dua model prediksi dikembangkan dan dievaluasi:

a. Model Jaringan Saraf Tiruan (ANN) Tunggal

Model ANN dibangun menggunakan arsitektur *feedforward* dengan beberapa lapisan *dense*. Model ini dilatih untuk mempelajari hubungan non-linear antara fitur-fitur cuaca masukan dan daya keluaran. Fungsi aktivasi *Rectified Linear Unit* (ReLU) digunakan pada lapisan tersembunyi dan fungsi aktivasi linear digunakan pada lapisan keluaran. Model dikompilasi menggunakan *optimizer* Adam dan fungsi *loss Mean Squared Error* (MSE).

b. Model Hybrid ARIMA-ANN

Model *hybrid* ini menggabungkan kemampuan pemodelan deret waktu dari ARIMA dengan kemampuan pemodelan non-linear dari ANN. Model ARIMA secara khusus dilatih pada data 'daya' dari waktu ke waktu (deret waktu target) untuk mengidentifikasi dan memodelkan pola-pola yang terkait dengan urutan waktu data tersebut. Prediksi dari model ARIMA dan prediksi dari model ANN (yang menggunakan fitur cuaca) kemudian digabungkan melalui metode perataan sederhana untuk menghasilkan prediksi *hybrid*.

2.5 Pelatihan dan Evaluasi

Kedua model (ANN tunggal dan *hybrid* ARIMA-ANN) dilatih menggunakan set data pelatihan. Kinerja kedua model dievaluasi pada set data pengujian menggunakan metrik-metrik berikut:

a. Mean Absolute Error (MAE)

Sebuah metode untuk mengukur rata-rata selisih absolut antara nilai prediksi dan nilai aktual. Persamaan 1 merupakan rumus perhitungan dari MAE [17]:

$$MAE = \frac{1}{m} \sum_{t=1}^m (|P'(t) - P(t)|) \tag{1}$$

b. Root Mean Squared Error (RMSE)

Sebuah metode untuk mengukur akar kuadrat dari rata-rata selisih kuadrat antara nilai prediksi dan nilai aktual, memberikan bobot lebih pada kesalahan yang lebih besar. Persamaan 2 merupakan rumus perhitungan dari RMSE [17]:

$$RMSE = \frac{1}{m} \sum_{t=1}^m (P(t) - P'(t))^2 \tag{2}$$

c. Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

Sebuah metode untuk mengukur rata-rata persentase kesalahan absolut relatif terhadap nilai aktual, berguna untuk interpretasi. Persamaan 3 merupakan rumus perhitungan dari MAPE [10]:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{Y_t - y'}{y'} \times 100\% \tag{3}$$

3. HASIL

Berdasarkan proses pelatihan dan evaluasi kedua model pada dataset, diperoleh beberapa temuan terkait kinerja model ANN tunggal dan model *hybrid* ARIMA-ANN dalam memprediksi daya fotovoltaik:

3.1 Hasil Model ANN Tunggal

Model ANN tunggal dilatih dan dievaluasi pada set data pengujian. Metrik evaluasi yang diperoleh adalah:

- a. *Mean Absolute Error* (MAE): 218,43
- b. *Root Mean Squared Error* (RMSE): 242,26
- c. *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE): 51,40%

Prediksi masa depan selama 1 bulan ke depan menggunakan model ANN menunjukkan nilai yang cenderung konstan, mereplikasi karakteristik data masukan terakhir.

3.2 Hasil Model Hybrid ARIMA-ANN

Model *hybrid* ARIMA-ANN, yang menggabungkan prediksi dari model ANN dan model ARIMA (dengan orde (5, 1, 0), selanjutnya dievaluasi pada set data pengujian. Metrik evaluasi yang diperoleh adalah:

- a. *Mean Absolute Error* (MAE): 189,88
- b. *Root Mean Squared Error* (RMSE): 220,57
- c. *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE): 45,11%

Prediksi masa depan selama 1 bulan ke depan menggunakan model *hybrid* menunjukkan variasi yang mencerminkan pengaruh komponen ARIMA dalam memproyeksikan pola deret waktu.

3.3 Perbandingan Kinerja Model

Pada Tabel 2 berikut merangkum perbandingan metrik evaluasi antara model ANN tunggal dan model *hybrid* ARIMA-ANN pada set data pengujian.

Tabel 2. Perbandingan metrik evaluasi antara model ANN tunggal dan model *hybrid* ARIMA-ANN

Metrik Evaluasi	Model ANN Tunggal	Model Hybrid ARIMA-ANN
MAE	218,43	189,88
RMSE	242,26	220,57
MAPE	51,40%	45,11%

Dari Tabel 2 di atas, terlihat jelas bahwa model *hybrid* ARIMA-ANN menghasilkan nilai MAE, RMSE dan MAPE yang lebih rendah dibandingkan dengan model ANN tunggal. Ini menunjukkan bahwa model *hybrid* memiliki akurasi prediksi yang lebih tinggi pada dataset ini.

4. PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil evaluasi pada dataset pengujian, model *hybrid* ARIMA-ANN menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan model ANN tunggal di semua metrik evaluasi:

a. Mean Absolute Error (MAE)

MAE model *hybrid* yaitu bernilai 189,88 lebih rendah dari MAE model ANN tunggal sebesar 218,43. Ini menunjukkan bahwa rata-rata selisih absolut antara nilai prediksi dan nilai aktual pada model *hybrid* lebih kecil, mengindikasikan prediksi yang lebih dekat dengan nilai sebenarnya.

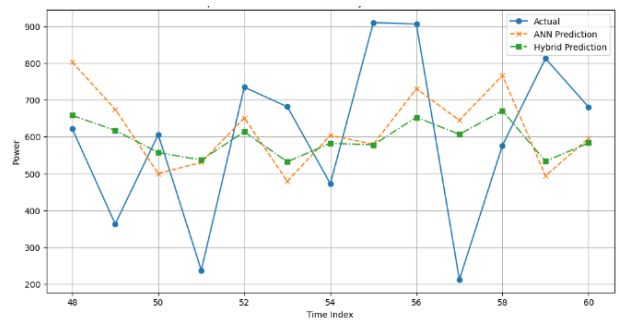
b. Root Mean Squared Error (RMSE)

RMSE model *hybrid* yaitu bernilai 220,57 juga lebih rendah dari RMSE model ANN tunggal sebesar 242,26. RMSE memberikan bobot yang lebih besar pada kesalahan yang lebih besar. Nilai RMSE yang lebih rendah pada model *hybrid* menunjukkan bahwa model ini cenderung memiliki kesalahan prediksi yang lebih kecil secara keseluruhan, terutama dalam menangani outlier atau fluktuasi besar dalam data.

c. Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

MAPE model *hybrid* yaitu bernilai 45,11% lebih rendah dari MAPE model ANN tunggal sebesar 51,40%. MAPE adalah metrik yang berguna untuk memahami tingkat kesalahan relatif terhadap nilai aktual. MAPE yang lebih rendah pada model *hybrid* menunjukkan bahwa prediksi model ini memiliki akurasi persentase yang lebih tinggi.

Kinerja unggul dari model *hybrid* ARIMA-ANN dapat diatribusikan pada kemampuannya untuk menggabungkan kekuatan kedua model. ARIMA efektif dalam menangkap dependensi temporal dan pola deret waktu seperti tren dan musiman dalam data daya. ANN, di sisi lain, sangat baik dalam memodelkan hubungan non-linear antara fitur masukan (suhu, iradiasi, kecepatan angin, kelembapan, tutupan awan) dan target keluaran (daya). Dengan menggabungkan prediksi dari kedua model ini, model *hybrid* mampu memanfaatkan baik informasi deret waktu yang ditangkap oleh ARIMA maupun hubungan kompleks non-linear yang dipelajari oleh ANN. Hal ini menghasilkan prediksi yang lebih akurat dan *robust* dibandingkan dengan menggunakan salah satu model secara terpisah.



Gambar 2. Perbandingan Hasil Model Prediksi

Berdasarkan Gambar 2, menunjukkan evaluasi kinerja prediksi dua pendekatan pemodelan, yaitu *Artificial Neural Network* (ANN) dan model *hybrid*, melalui perbandingan terhadap data aktual. Kedekatan antara garis prediksi dan garis aktual merepresentasikan tingkat kesalahan (*error*) yang lebih rendah, yang secara langsung berkorelasi dengan peningkatan akurasi model. Analisis pola kedekatan ini menjadi krusial karena mencerminkan kemampuan model dalam merepresentasikan dinamika data, termasuk fluktuasi dan tren pada rentang waktu tertentu. Model yang mampu mengikuti pola data aktual secara konsisten, termasuk pada titik ekstrem seperti puncak dan lembah, dapat dikategorikan sebagai model yang lebih *robust* dan andal untuk tujuan peramalan. Sebaliknya, deviasi yang signifikan atau ketidaksesuaian pola menunjukkan keterbatasan model dalam menangkap karakteristik mendasar dari data yang dianalisis.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan evaluasi, model *hybrid* ARIMA-ANN menunjukkan kinerja yang lebih unggul dibandingkan model ANN tunggal dalam memprediksi daya keluaran pembangkit listrik tenaga surya. Hal ini ditunjukkan oleh nilai metrik evaluasi, yaitu MAE, RMSE dan MAPE, yang secara konsisten lebih rendah pada model *hybrid*. Temuan ini menegaskan bahwa penggabungan metode peramalan deret waktu tradisional dengan pendekatan *machine learning* mampu meningkatkan akurasi prediksi, khususnya pada data yang mengandung pola linier dan non-linier. Secara konseptual, model ARIMA efektif dalam menangkap pola temporal dan ketergantungan deret waktu, sedangkan ANN unggul dalam memodelkan hubungan non-linier yang kompleks antara variabel eksternal (misalnya suhu, iradiasi, kecepatan angin, kelembapan dan tutupan awan) dengan daya keluaran. Dengan

menggabungkan keunggulan kedua pendekatan ini, model *hybrid* mampu menghasilkan prediksi yang lebih akurat dan stabil. Meskipun demikian, kinerja prediksi di masa mendatang sangat dipengaruhi oleh kualitas fitur *input* yang digunakan. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengeksplorasi pemilihan fitur yang lebih optimal, penggunaan teknik peramalan multivariat, serta penyetulan hyperparameter yang lebih mendalam pada kedua model.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. K. P. K. A. Putra, Sediono, M. F. F. Mardianto, dan E. Pusporani, "Analisis Prediktif Menggunakan Metode Hybrid Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average – Artificial Neural Network pada Data Konsentrasi PM2.5 Harian di DKI Jakarta," *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 8, no. 1, hal. 565–575, 2024, doi: 10.33379/gtech.v8i1.3896.
- [2] Y. R. Rony, U. T. Kartini, J. Joko, dan T. Wrahatnolo, "Pemodelan Transfer Energi Smartgrid Photovoltaic Dengan Sensor Suhu Untuk Efisiensi Energi," *Indones. J. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 2, hal. 89–98, 2022, [Daring]. Tersedia pada: <https://journal.unesa.ac.id/index.php/inajet/article/view/19039>
- [3] E. Taneza dan F. Firdaus, "Smart System Untuk Pemantauan Dan Optimasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *Transm. J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 27, no. 1, hal. 20–32, 2025, doi: 10.14710/transmisi.27.1.20-32.
- [4] B. T. Kuncoro, I. Setiawan, dan M. Facta, "Photovoltaic Power Prediction With Short Term Boost Converter Using Backpropagation Artificial Neural Networks," *IJARIE (International J. Adv. Res. Innov. Ideas Educ.)*, vol. 8, no. 6, hal. 1327–1341, 2022, doi: 16.0415/IJARIE-18799.
- [5] Khairunnisa, "Prediksi Daya Pembangkit Listrik Pv Satu Hari Ke Depan Untuk Memudahkan Manajemen Energi Pada Sistem Menggunakan Neural Network," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2020. [Daring]. Tersedia pada: https://repository.its.ac.id/73445/1/07111850010003-Master_Thesis.pdf
- [6] S. Nematzadeh dan V. Esen, "Explainable Machine Learning and Predictive Statistics for Sustainable Photovoltaic Power Prediction on Areal Meteorological Variables," *Appl. Sci.*, vol. 15, no. 14, hal. 1–27, 2025, doi: 10.3390/app15148005.
- [7] H. Johan, N. Utomo, dan R. Wikrama Wardana, "Pengaruh Temperatur Udara, Kelembaban Udara, Kecepatan Udara Dan Intensitas Cahaya Terhadap Daya Listrik Panel Surya," *Edu Fis.*, vol. 7, no. 1, hal. 56–61, 2022.
- [8] D. Lee dan K. Kim, "Recurrent neural network-based hourly prediction of photovoltaic power output using meteorological information," *Energies*, vol. 12, no. 2, 2019, doi: 10.3390/en12020215.
- [9] B. T. Kuncoro, "Inovasi Dalam Energi Terbarukan Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Meramalkan Daya Fotovoltaik," in *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST)*, Universitas AKPRIND Indonesia, 2024, hal. 7–14. doi: <https://doi.org/10.34151/prosidingsnast.v1i1>.
- [10] I. Amarulloh, I. Kartini, W. Aribowo, dan S. Haryudo, "Peramalan Daya Listrik Jangka Pendek Pada Smart Grid Photovoltaic Menggunakan Metode Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) Dengan Pengaruh Sensor Suhu Pada Mode Hybrid," *J. Tek. Elektro.*, vol. 10, no. 3, hal. 769–781, 2021.
- [11] C. Pasion, T. Wagner, C. Koschnick, S. Schuldt, J. Williams, dan K. Hallinan, "Machine learning modeling of horizontal photovoltaics using weather and location data," *Energies*, vol. 13, no. 10, hal. 1–14, 2020, doi: 10.3390/en13102570.
- [12] B. Mehmood *et al.*, "Development Of A Hybrid Artificial Intelligence Framework For Accurate Forecasting Of Solar Power Generation Using Machine Learning Algorithms And Timeseries Analysis," *Spectr. Eng. Sci.*, vol. 3, no. 5, hal. 613–636, 2025, doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15478903>.
- [13] M. Hadwan, B. M. Al-Maqaleh, F. N. Al-Badani, R. U. Khan, dan M. A. Al-Hagery, "A hybrid neural network and box-jenkins models for time series forecasting," *Comput. Mater. Contin.*, vol. 70, no. 3, hal. 4829–4845, 2022, doi: 10.32604/cmc.2022.017824.
- [14] X. Qing dan Y. Niu, "Hourly day-ahead solar irradiance prediction using weather forecasts by LSTM," *Energy*, vol. 148, hal. 461–468, 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.01.177.
- [15] S. Das, "Short term forecasting of solar radiation and power output of 89.6kWp solar PV power plant," 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.449>.
- [16] N. P. E. Simarmata, Y. Estefani, B. S. Bahri, dan S. S. Sibarani, "Penggunaan Energi Bersih Menggunakan Panel Surya Di India," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 4, no. 3, hal. 274–284, 2023, doi: 10.14710/jebt.2023.21518.
- [17] Y. Chu, B. Urquhart, S. M. I. Gohari, H. T. C. Pedro, J. Kleissl, dan C. F. M. Coimbra, "Short-term reforecasting of power output from a 48 MWe solar PV plant," *Sol. Energy*, vol. 112, hal. 68–77, 2015, doi: 10.1016/j.solener.2014.11.017.