

Pemodelan Efisiensi Energi Panel Surya Berdasarkan Variasi Suhu Dengan Algoritma *Random Forest*

Feby Ardianto¹, Yosi Apriani², Muhammad Alvin Pratama³, Eko Ariyanto⁴
^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Mummadiyah Palembang, Indonesia
⁴Program Studi Teknik Kimia, Universitas Mummadiyah Palembang, Indonesia
e-mail: feby_ardianto@um-palembang.ac.id¹, yosi_apriani@um-palembang.ac.id²,
pratamamalvin42@gmail.com³, eko_ariyanto@um-palembang.ac.id⁴

ABSTRAK

Ketika suhu meningkat, cenderung terjadi penurunan efisiensi energi. Hal ini karena material dalam panel surya, terutama sel *Photovoltaic*, memiliki karakteristik yang membuat mereka kurang efisien dalam mengubah energi matahari menjadi energi listrik saat suhu naik. Dengan menggunakan metode penelitian *random forest* dan software Rstudio untuk membantu menganalisis dapat disimpulkan bahwa variasi suhu yang paling berpengaruh terhadap efisiensi daya adalah Intensitas Cahaya dengan kontribusi sebesar 19%, lalu suhu udara sebesar 18%, kelembaban dengan 17,5%, kecepatan angin dengan 14,5% dan terakhir suhu panel dengan kontribusi sebesar 13%. Kontribusi ini adalah kontribusi terhadap daya yang dihasilkan oleh pengaruh suhu terhadap daya yang dihasilkan. pada jam 10.13 didapat daya tertinggi, yang dimana daya yang dihasilkan sebesar 164,48 Watt. Dengan intensitas cahaya sebesar 431,44 cd (candela), suhu udara sebesar 41,9 °C, kelembaban sebesar 49,4%, kecepatan angin sebesar 0,2 m/s, dan suhu panel 35 °C.

Kata kunci: Efisiensi Suhu, *Random Forest*, Software Rstudio, MSE, RMSE

Modeling Solar Panel Energy Efficiency Based on Temperature Variations Using the Random Forest Algorithm

ABSTRAK

When temperature increases, energy efficiency tends to decrease. This is because the materials in solar panels, especially photovoltaic cells, have characteristics that make them less efficient at converting solar energy into electrical energy when temperatures rise. By using the random forest research method and Rstudio software to help analyze it can be concluded that the temperature variation that has the most influence on power efficiency is light intensity with a contribution of 19%, then air temperature with 18%, humidity with 17.5%, wind speed with 14.5% and finally panel temperature with a contribution of 13%. This contribution is the contribution to the power produced by the effect of temperature on the power produced. at 10.13 the highest power was obtained, where the power produced was 164.48 Watts. With a light intensity of 431.44 cd (candela), air temperature of 41.9°C, humidity of 49.4%, wind speed of 0.2 m/s, and panel temperature of 35 °C

Kata kunci: *Temperature Efficiency, Random Forest, Software Rstudio, MSE, RMSE*

Correspondence author: Feby Ardianto, Universitas Muhammadiyah Palembang,
E-Mail: feby_ardianto@gmail.com

I. PENDAHULUAN

Sel surya merupakan sebuah perangkat yang dapat mengubah energi sinar matahari ke energi listrik dengan proses efek fotovoltaiik dengan berbahan semi konduktor, komponen panel surya atau solar cell ini sangat penting bagi sistem pembangkit listrik tenaga surya. Photovoltaic (PV) atau yang lebih dikenal dengan istilah pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) menjadi salah satu alternative yang menjadi topic pilihan untuk terus dikembangkan. Photovoltaic atau sel surya dianggap PLTS yang menjanjikan karena beberapa alasan, yaitu bebas polusi, sumber energy yang diperoleh secara gratis dan banyak tersedia dialam. Padas sel surya ini yang dimana dapat mengubah energy matahari menjadi energy listrik dapat menjadi sumber energy yang berguna maka salah satu faktornya adalah effisiensinya harus tinggi. Salah satu bagian terpenting dalam yang menjaga tingkat effisiensi yang tinggi adalah sel surya (Photovoltaic)[1].

Ada beberapa faktor yang menyebabkan kinerja kerja PLTS menjadi kurang maksimal seperti pengaruh sudut kemiringan, bayangan tingkat kerbersihan panel, suhu, dll. Suhu merupakan salah satu factor yang memengaruhi kinerja modul surya. Panel surya terdiri dari beberapa susunan sel surya, yang mempengaruhi sifat penyerap energy matahari yang baik. Saat panel surya beroperasi dibawah sinar matahari maka terjadi peningkatan suhu pada sel surya. Saat suhunya semakin naik maka akan berpengaruh juga terhadap daya yang dihasilkan serta akan terjadi pula penurunan pada suatu panel surya[2].

Ketika suhu meningkat, cenderung terjadi penurunan efisiensi energy. Hal ini karena material dalam panel surya, terutama sel Photovoltaic, memiliki karakteristik yang membuat mereka kurang efisien dalam mengubah energy matahari menjadi energi listrik saat suhu naik. Oleh karena itu, pemahaman dan penanganan variabilitas suhu menjadi kunci dalam merancang dan mengoptimalkan system PLTS agar tetap efisiensi dalam berbagai kondisi lingkungan[3].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi suhu eksternal terhadap efisiensi konversi energi pada panel surya, sehingga membantu memahami kinerja panel surya dalam kondisi suhu yang berbeda. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi rentang suhu di mana efisiensi panel surya mencapai puncaknya,

Serta menggunakan metode *Random Forest* yang dapat optimal untuk meningkatkan efisiensi dalam kondisi suhu yang bervariasi[4]. Data dan pemahaman yang diperoleh dari penelitian ini akan menjadi dasar untuk pengembangan teknologi dan strategi yang dapat meningkatkan efisiensi panel surya dalam skenario yang melibatkan fluktuasi suhu, sehingga berkontribusi pada pemahaman umum tentang potensi energi surya dan tantangan yang terkait dengan penggunaannya dalam lingkungan yang berbeda.

Penelitian ini diharapkan dapat menyumbangkan banyak hal bagi pengembangan energi surya. Pertama, dengan mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi panel surya, terutama variabel suhu, diharapkan strategi dapat dikembangkan untuk meningkatkan konversi energi surya. Selanjutnya, pengetahuan yang diperoleh diharapkan dapat digunakan untuk mengembangkan teknologi panel surya yang lebih adaptif terhadap fluktuasi suhu, melalui pengembangan material atau desain yang lebih tahan terhadap perubahan suhu eksternal. Dengan memahami pengaruh suhu terhadap efisiensi daya panel, diharapkan ketersediaan energi terbarukan seperti listrik tenaga surya dapat ditingkatkan dalam skala yang lebih luas, mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil dan dampak negatifnya terhadap lingkungan.

II. METODE PENELITIAN

A. Photovoltaic

Kata photovoltaic terdiri dari dua kata yaitu photo dan volta. Photo berarti cahaya (dari bahasa Yunani yaitu phos, photos: cahaya) dan volta (berasal dari nama Alessandro Volta seorang fisikawan italia yang hidup antara tahun 1745-1827) yang berarti tegangan

listrik. Kata photovoltaic bisa disingkat dengan PV. Photovoltaic adalah teknologi yang menghasilkan tenaga listrik DC (*direct current*) dari bahan semikonduktor ketika terpapar oleh foton. Selama cahaya menyinari solar cell (nama untuk individual elemen *photovoltaic*), maka akan menghasilkan tenaga listrik. Ketika tidak ada cahaya, energy listrik juga berhenti dihasilkan[5].

B. Parameter Kinerja Panel Surya

Perfomansi dari Panel surya perlu dimonitoring secara berkala, perlu adanya system yang mampu mengukur Panel surya dan parameter-parameter yang mempengaruhi kinerja kerja Panel surya.

a. Suhu Udara

Suhu udara berpengaruh terhadap panel surya, peningkatan suhu udara lebih tinggi dapat mengakibatkan penurunan efisiensi panel surya. Hal ini disebabkan oleh efek koefisien temperature negative, dimana kenaikan suhu udara dapat menyebabkan penurunan tegangan dan kinerja panel surya secara keseluruhan. Sebagai hasilnya, daya yang dihasilkan oleh panel surya dapat berkurang saat udara mengkat. Namun perubahan ini dapat bervariasi berdasarkan jenis panel surya, bahan dan teknologi yang digunakan (Bayu, Sulistiyawati, & Agustini, 2020). Penggunaan sensor suhu udara pada panel surya menggunakan sensor DHT 222. Sensor DHT 222 juga dikenal sebagai AM2302, adalah sensor suhu dan kelembaban digital yang populer dalam berbagai proyek *IoT*.

b. Intensitas Cahaya

Menurut [6] cara kerja panel surya sebagai berikut: panas dari cahaya matahari ditangkap oleh sel surya kemudian dirubah menjadi energy listrik. Energy yang dihasilkan tersebut kemudian dimasukan dalam rangkaian tambahan untuk mengelolanya supaya dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan sehari-hari.

Dalam mengukur intensitas cahaya terhadap panel surya digunakan sensor BH 1750. Sensor BH1750 adalah sensor cahaya digital yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya disekitarnya.

c. Kelembaban

Menurut [7] daya yang dihasilkan sebuah system tergantung beberapa faktor, termasuk kelembaban udara. Beberapa faktor tersebut antara lain:

1. Penyerapan radiasi

kelembaban udara dapat menghalangi radiasi matahari mencapai panel surya dengan sempurna. Partikel air diudara dapat menyerap dan memantulkan sebagian cahaya matahari, sehingga mengurangi jumlah energy yang tersedia untuk diubah menjadi listrik panel surya.

2. Efek penurunan kinerja

Kelembaban yang tinggi dapat menyebabkan penurunan kinerja panel surya karena adanya lapisan embun atau kotoran yang menempel pada permukaan panel. Hal ini dapat mengurangi transmisi cahaya matahari dan mengurangi efisiensi panel.

3. Kondisi cuaca

Kelembaban udara biasanya berkaitan dengan kondisi cuaca tertentu, seperti awan dan hujan. Kondisi cuaca ini dapat mengurangi intensitas cahaya matahari yang mencapai panel surya, yang pada gilirannya akan mengurangi daya yang dihasilkan.

4. Efek suhu

Kelembaban udara dapat mempengaruhi suhu panel surya. Peningkatan kelembaban bisa mengakibatkan peningkatan suhu panel surya karena penghalang yang dihasilkan oleh lapisan air atau embun, yang pada akhirnya dapat mengurangi efisiensi panel.

5. Kondisi lingkungan

Kelembaban udara juga mempengaruhi kondisi lingkungan disekitar panel surya, seperti kelembaban tanah dan vegetasi di sekitarnya. Hal ini mempengaruhi efisiensi pendinginan panel surya dan kinerja secara keseluruhan.

Sama seperti suhu udara, untuk mengukur kelembaban digunakan sensor DHT22 atau juga dikenal sebagai AM2302

d. Kecepatan Angin

Kecepatan angin disekitar lokasi panel surya sangat mempengaruhi efisiensi panel surya, hal ini bisa membantu menjaga suhu kaca pada sel surya tetap rendah sehingga suhu kerja pada sel surya tetap optimal. Daya output yang dihasilkan pada panel surya tidak hanya dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari saja, akan tetapi juga dipengaruhi oleh cuaca, seperti kecepatan angin, suhu serta kelembaban. Apabila suhu pada panel naik melebihi suhu standarnya maka menimbulkan turunnya daya yang dihasilkan dikarenakan efisiensi pada panel juga menurun. Berubahnya suhu pada sel surya disebabkan oleh kondisi temperaturnya itu sendiri seperti pengaruh dari kecepatan angin, serta lingkungan tempat panel surya diletakan. [8]

e. Daya

Daya adalah ukuran jumlah energi listrik yang dikonsumsi atau dihasilkan oleh suatu perangkat atau system dalam satuan waktu tertentu[9]. Daya listrik diukur dalam satuan Watt (W), yang merupakan joule perdetik. Daya listrik memainkan peran penting dalam menentukan efisiensi dan performa perangkat listrik serta perhitungan konsumsi energi listrik.

f. RStudio

RStudio adalah sebuah lingkungan pengembangan terpadu (IDE) untuk bahasa pemrograman R, yang digunakan untuk analisis data, statistik, dan visualisasi data. RStudio menyediakan berbagai fitur yang memudahkan pengguna dalam menulis, menjalankan, dan mengelola kode R. Ini termasuk editor kode, konsol, panel manajemen file, dan alat visualisasi data

g. Random forest

Metode yang digunakan adalah Random Forest. Random Forest adalah algoritma pembelajaran mesin yang digunakan baik untuk tugas klasifikasi maupun

regenerasi[4]. Dengan metode ini pula dapat mencari nilai tunggal dalam akurasi yang tepat dengan menggabungkan system software dengan metode random Forest.

h. MSE dan RMSE

Menurut [1] MSE (Mean Squared Error) adalah metrik yang umum digunakan dalam statistika dan machine learning[10] untuk mengevaluasi kinerja model prediktif. Rumus untuk MSE adalah:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \dots \dots \dots 2.1$$

di mana:

- n adalah jumlah sampel dalam dataset.
- y_i adalah nilai yang diamati (nilai sebenarnya) dari sampel ke-i.
- \hat{y}_i adalah nilai yang diprediksi oleh model untuk sampel ke-i.

MSE mengukur rata-rata dari kuadrat selisih antara nilai yang diamati dan nilai yang diprediksi oleh model. Semakin kecil nilai MSE, semakin baik kinerja modelnya.

Menurut [8] RMSE (Root Mean Squared Error) adalah metrik evaluasi yang sering digunakan dalam statistika dan machine learning untuk mengukur seberapa baik model prediktif dalam menyesuaikan data. RMSE adalah akar kuadrat dari MSE dan memberikan hasil dalam unit yang sama dengan variabel target.

Rumus untuk RMSE adalah:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \dots \dots \dots 2.2$$

di mana:

- n adalah jumlah sampel dalam dataset.
- y_i adalah nilai yang diamati (nilai sebenarnya) dari sampel ke-i.
- \hat{y}_i adalah nilai yang diprediksi oleh model untuk sampel ke-i.

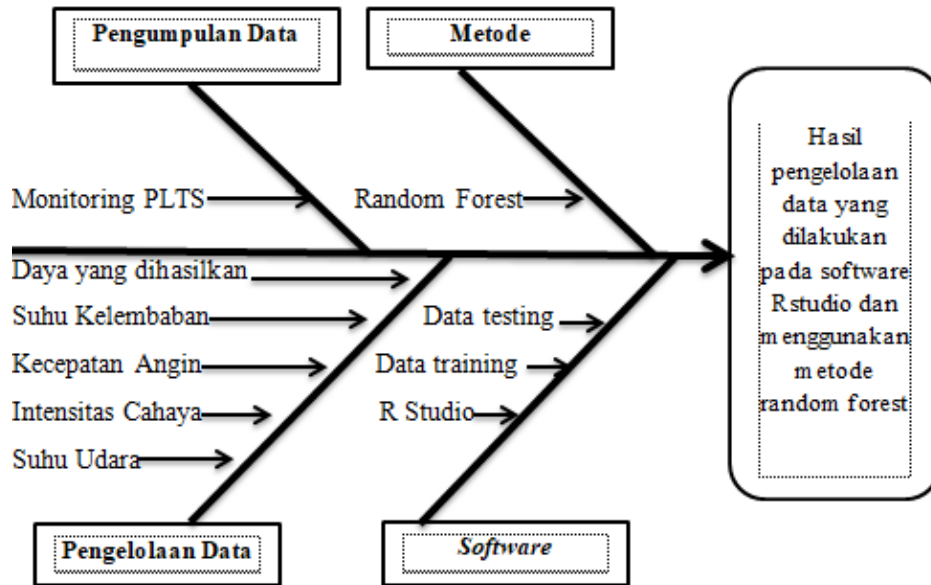
RMSE memberikan pengukuran rata-rata dari selisih antara nilai yang diamati dan nilai yang diprediksi oleh model, dengan nilai akar kuadratnya. Semakin kecil nilai RMSE, semakin baik kinerja modelnya.

Tempat dan waktu

Tahapan proses penelitian pengaruh variasi suhu terhadap efisiensi daya energy panel surya dalam pembangkit listrik tenaga surya metode penelitian dan pengujian bertempat dilab elektro muhammadiyah.



Diagram Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Penelitian.

Prosedur metode penelitian

Metode penelitian ini menggunakan beberapa tahapan penelitian, diantaranya:

A. Tahap pengumpulan data

Penelitian ini, penulis menggunakan monitoring sebagai salah satu cara untuk pengumpulan data. Monitoring merupakan salah satu tindakan yang melibatkan pengumpulan, analisis, pelaporan, dan tindakan atas informasi mengenai proses yang sedang dijalankan.

Data yang diperoleh berupa data dari sensor BH 1750 yaitu untuk mengukur intensitas cahaya, sensor DHT yaitu untuk mengukur suhu udara dan kelembaban, sensor Anemometer Wind Speed yaitu untuk mengukur kecepatan angin, dan sensor Pzem Dc yaitu untuk mengukur daya.

B. Tahap pengolahan data

Pada tahapan ini merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mengolah data menjadi sebuah informasi yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan yaitu pengaruh variasi suhu terhadap daya yang dihasilkan. Data yang digunakan dalam pengolahan data dari tahap monitoring pembangkit listrik tenaga surya, peneliti menggunakan metode Random Forest yang akan dikerjakan menggunakan software Rstudio.

Adapun variabel yang digunakan yaitu X_1 =intensitas cahaya, X_2 =suhu udara, X_3 =kelembaban, X_4 =kecepatan angin, dan Y_1 =daya

C. Tahap metode

Metode yang digunakan oleh penulis untuk menganalisis pengaruh variasi suhu terhadap daya yang dihasilkan pada pembangkit listrik tenaga surya yaitu metode Random Forest yang diimplementasikan dengan software Rstudio.

D. Tahap analisis

Pada tahap ini peneliti melakukan analisis terhadap kesalahan atau error pada model regresi yang bertujuan untuk mengetahui jarak antara nilai prediksi dan nilai actual. Dalam analisis ini akan menggunakan data yang terbagi menjadi 2 yaitu data testing dan data training yang dimana akan menghasilkan 2 pengujian yaitu MSE (*Mean Squared Error*) dan RMSE (*Root Mean Squared Error*).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Data

Data suhu yang digunakan untuk melakukan perhitungan yaitu: Data Intensitas Cahaya, Data Suhu Udara, Data Kelembaban, Data Kecepatan Angin, Data Panel bagian Atas, Data Daya

Pelaksanaan pengujian daya yang dihasilkan terhadap suhu berupa intensitas cahaya, suhu udara, kelembaban, kecepatan angin, panel bagian atas. Pengujian dari suhu tersebut yang hasil sedang dilakukan analisis perhitungan, terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Surya

No	Intensitas Cahaya	Suhu Udara	Kelembaban	Kecepatan Angin	Panel Atas	DAYA
1	96,89	30,6	80,8	0,40	28,06	0,3603
2	115,21	30,4	81,6	0,20	28,12	0,3606
3	83,17	30,7	81,3	0,05	28,37	0,2404
4	76,44	31,0	80,1	0,00	28,44	0,2400
5	71,17	30,8	80,2	0,40	28,37	0,2400
6	69,15	30,6	81,0	0,10	28,31	0,2398
7	69,59	30,3	82,0	0,05	28,19	0,2398
8	73,31	30,1	83,0	0,05	28,19	0,2398
...
300	154,33	30,7	77,3	0,25	29,56	1,8330

Tabel 1. merupakan sebagian data dari total 300 data pada tanggal 30 November 2023. Sampel data dari data intensitas cahaya, suhu udara, kelembaban, kecepatan angin, serta daya yang dihasilkan. Pengujian data diatas dimulai pada jam 07.05 WIB dengan interval pengujian per satu menit setiap pengujian, pengujian berakhir pada jam 16.12 WIB

2. Perhitungan

Pada software Rstudio data yang diinput akan dibagi menjadi 2 jenis data. Yaitu data pelatihan (data training) dan data pengujian (data testing). Pada analisis ini, penulis menggunakan perbandingan data yaitu 80:20 yang dimana 80% adalah data pelatihan (training) dan 20% adalah data pengujian (testing)..

Setelah data dibagi menjadi 2, selanjutnya penulis akan memasukan metode Random forest ke dalam data pelatihan (training). Maka akan didapat ringkasan model random forest dari data pelatihan (training) yang bertipe Regresion dengan jumlah pohon data yaitu 500 sehingga menghasilkan MOSR (Mean Of Squared Residuals) yaitu 261.5521 dengan Var menjelaskan 68,99%.

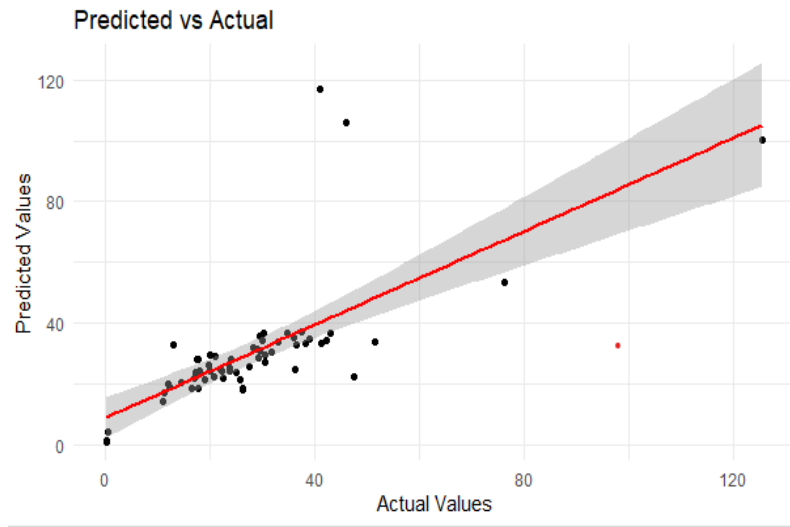
Selanjutnya penulis membuat nilai prediksi dari model random forest dengan data pengujian. Hasil dari nilai prediksi tersebut didapatkan nilai MSE (Mean Squared Error) dan RMSE (Root



Mean Squared Error) yang dimana nilai dari MSE yaitu 222.6906 dan nilai dari RMSE yaitu 14.92282. nilai MSE didapat dari nilai rata-rata error pada data pengujian (testing) dan nilai RMSE didapat dari nilai rata-rata error pada nilai MSE..

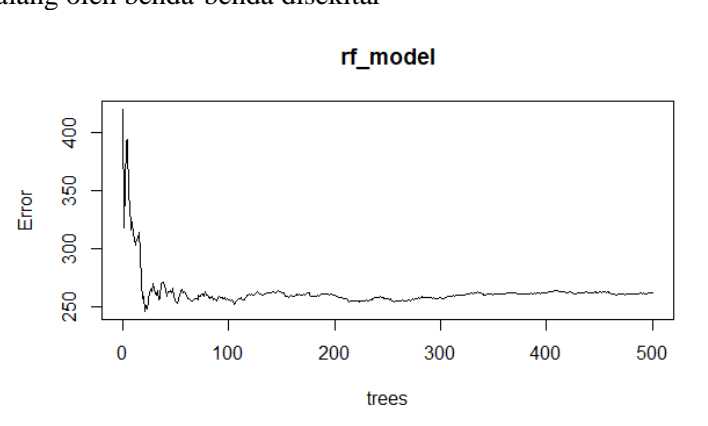
2. Analisis Pembahasan

Hasil aplikasi Rstudio didapatkan MSE (Mean Squared Error) yaitu 222.6906 dan RMSE (Root Mean Squared Error) yaitu 14.92282, dimana 222.6906 berupa rata-rata kuadrat yang telah diprediksi menggunakan model dan nilai yang actual, sedangkan nilai 14.92282 seberapa jauh prediksi model berada dari nilai sebenarnya dalam satuan yang sama dengan data yang asli.



Gambar 1. Prediksi dan nilai kebenaran

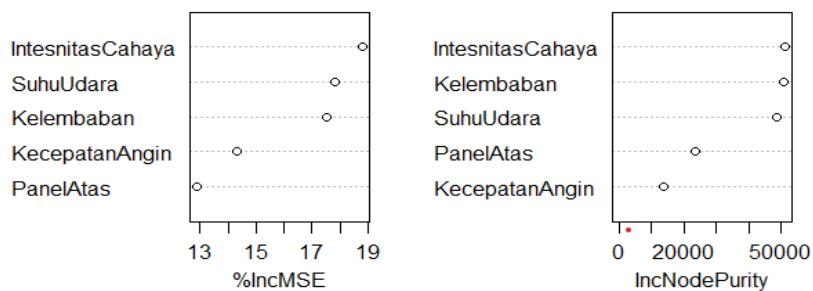
Gambar 1. dimana garis merah adalah nilai kebenaran dan titik hitam adalah nilai prediksi, dimana nilai prediksi hanya sekitar 15% yang mengalami error dan sisa 85% normal. Data yang mengalami error terjadi pada pagi hari pada jam 07.05 Wib yang mengakibatkan intensitas cahaya sangat rendah dan menghasilkan daya pada pembangkit menjadi kecil. Dari gambar diatas error pada daya yang dihasilkan berada pada angka 15% yang dimana dijelaskan bahwa error terjadi pada pagi hari dijam 07.05 Wib, hal ini dikarenakan cahaya yang masuk pada panel surya tidak maksimal atau terhalang oleh benda-benda disekitar



Gambar 2. Grafik garis error

Gambar 2. error tertinggi terjadi diawal sekitar 15% dikarenakan daya yang diambil dari jam 07.05 WIB tidak menghasilkan daya yang besar, daya yang dihasilkan cenderung kecil, sedangkan dilihat pada gambar grafik 2 data daya mulai terlihat normal pada data ke 15 yang sekitar 85% daya yang dihasilkan normal sampai dengan selesai.

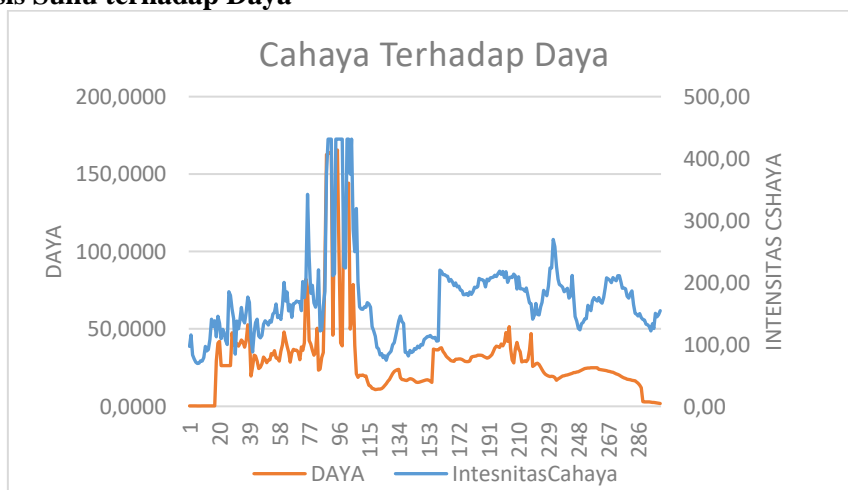
Variable Importance in RandomForest Model



Gambar 3. Efisiensi suhu terhadap daya

Gambar 3. efisiensi suhu terhadap daya yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga surya mulai dari intensitas cahaya sebesar 19% terhadap daya yang dihasilkan, lalu Suhu Udara sebesar 18% terhadap daya yang dihasilkan, lalu kelembaban sebesar 17,5% terhadap daya yang dihasilkan, lalu ada kecepatan angin sebesar 14,5% terhadap daya yang dihasilkan, dan terakhir Suhu Panel Atas sebesar 13% terhadap daya yang dihasilkan. Yang dimana pada jam 10.13 didapat daya tertinggi, yang dimana daya yang dihasilkan sebesar 164,48 Watt. Dengan intensitas cahaya sebesar 431,44 cd (candela), suhu udara sebesar 41,9 °C, kelembaban sebesar 49,4%, kecepatan angin sebesar 0,2 m/s, dan suhu panel 35 °C

3. Analisis Suhu terhadap Daya

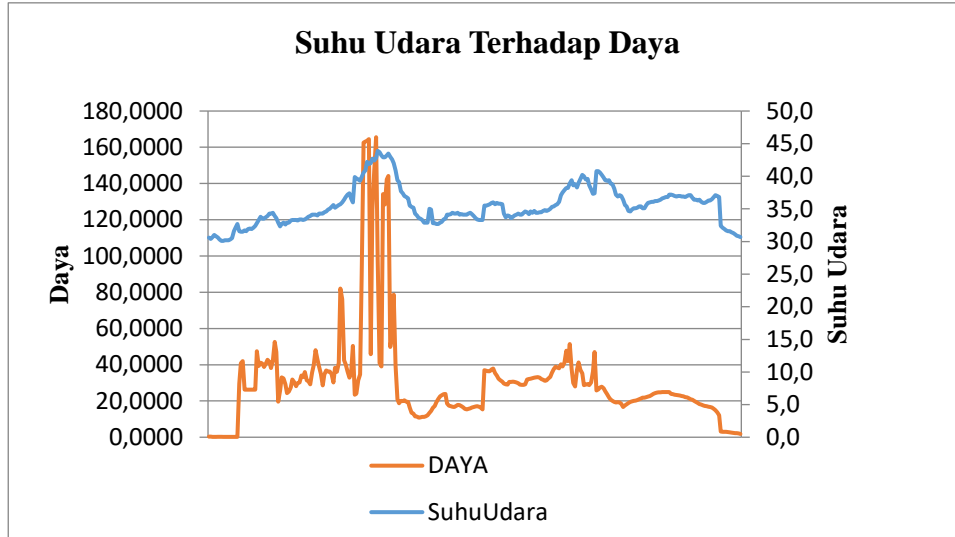


Gambar 4. Cahaya terhadap daya

Gambar 4. dapat dilihat cahaya yang diserap pada awal data terbilang kecil dan menghasilkan daya yang kecil pula, hal ini disebabkan karena intensitas cahaya yang terkena pada panel surya sangat sedikit pada kejadian ini biasanya cahaya matahari terhalang oleh bangunan dan

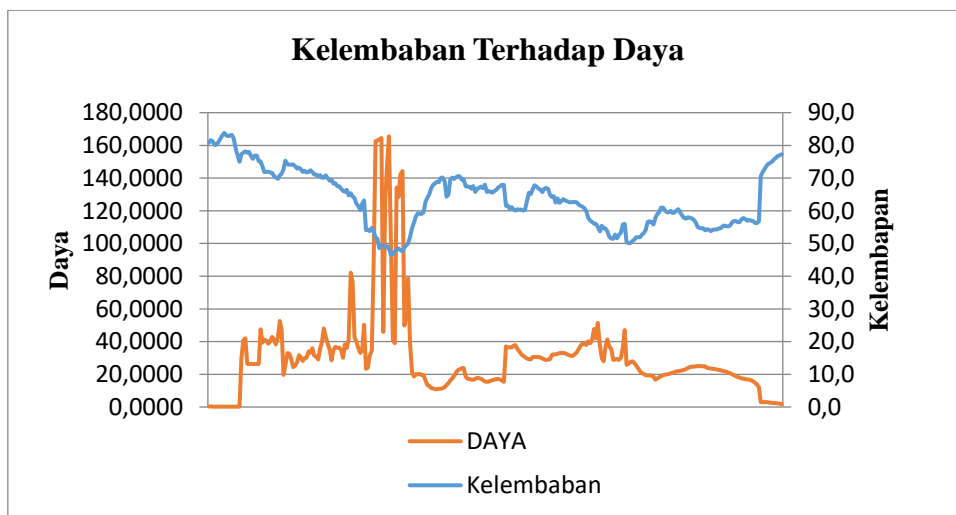


pepohonan sekitar panel surya yang mengakibatkan cahaya tidak masuk sepenuhnya ke dalam panel surya. Jika cahaya diserap oleh panel sepenuhnya maka akan menghasilkan daya yang besar juga.



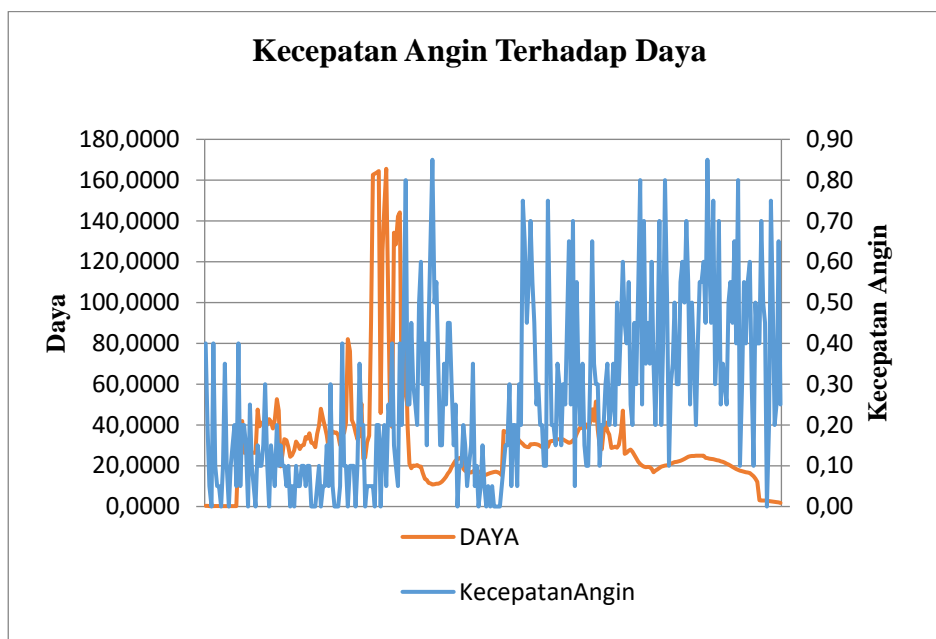
Gambar 5. Suhu udara terhadap daya

Gambar 5. dimana suhu udara yang sangat tinggi dapat mengakibatkan penurunan daya yang signifikan ini disebabkan efek dari bahan semikonduktor seperti silicon. Pada suhu yang lebih tinggi, karakteristik bahan semikonduktor berubah sehingga menurunkan efisiensinya dalam mengkonversi sinar matahari menjadi listrik.



Gambar 6. Kelembaban terhadap daya

Gambar 6. dimana pada awal kelembaban panel mencapai 89% yang dimana hal tersebut berpengaruh pada daya yang dihasilkan dikarenakan kelembaban yang tinggi dapat menyebabkan embun atau kodensasi pada permukaan panel surya, terutama dipagi hari. Embun ini dapat menghalangi sinar matahari yang masuk ke sel surya, sehingga mengurangi daya yang dihasilkan sampai embun menguap



Gambar 7. Kecepatan angin terhadap daya

Gambar 7. dimana kecepatan angin dapat membuat efisiensi panel surya karena angin dapat membantu mendinginkan panel surya ketika angin bertiup. Panas yang dihasilkan oleh panel surya dapat lebih cepat disebarkan, sehingga suhu panel menurun. Karena suhu yang lebih rendah biasanya meningkatkan efisiensi panel surya.

4. MSE dan RMSE

Pada Rstudio didapatkan MSE (Mean Squared Error) yaitu 222.6906 dan RMSE (Root Mean Squared Error) yaitu 14.92282. yang dimana 222.6906 berupa rata-rata kuadrat yang telah diprediksi menggunakan model dan nilai yang actual, sedangkan nilai 14.92282 itu adalah seberapa jauh prediksi model berada dari nilai sebenarnya dalam satuan yang sama dengan data yang asli.

IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai Mean Squared Error (MSE) sebesar 222.6906 dan Root Mean Squared Error (RMSE) sebesar 14.92282 menandakan model belum optimal akibat adanya outlier pada data yang dikumpulkan. Variasi lingkungan memengaruhi efisiensi daya panel surya dengan intensitas cahaya memiliki pengaruh terbesar (19%), diikuti suhu udara (18%), kelembaban (17,5%), kecepatan angin (14,5%), dan suhu panel (13%). Intensitas cahaya berperan penting karena sinar matahari yang terhalang menurunkan daya secara signifikan. Suhu udara dan kelembaban yang tinggi dapat mengurangi efisiensi panel melalui pemanasan berlebihan dan pembentukan embun. Kecepatan angin yang rendah juga menurunkan kinerja karena panel memerlukan pendinginan. Oleh karena itu, pengelolaan faktor lingkungan menjadi kunci dalam menjaga efisiensi panel surya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Makkulau, S. Samsurizal, and S. Kevin, "Karakteristik Temperatur Pada Permukaan Sel Surya Polycrystalline Terhadap Efektifitas Daya Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *Sutet*, vol. 10, no. 2, pp. 69–78, 2020, doi: 10.33322/sutet.v10i2.1291.

-
- [2] H. P. D. Edwin, W. A. Jhon, T. Ambros, and P. Aris, “Pengaruh Bayangan Terhadap Output Tegangan Dan Kuat Arus Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts),” *Rotor*, vol. 11, no. 2, p. 47, 2018, doi: 10.19184/rotor.v11i2.9343.
- [3] J. Indra Bayu, I. Budi Sulistiyawati, and N. Putu Agustini, “Monitoring Pengaruh Suhu Pada Panel Surya Terhadap Performa Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Surya,” *J. FORTECH*, vol. 4, no. 1, pp. 27–32, 2023, doi: 10.56795/fortech.v4i1.4104.
- [4] K. Olcay, S. Giray Tunca, and M. Arif Ozgur, “Forecasting and Performance Analysis of Energy Production in Solar Power Plants Using Long Short-Term Memory (LSTM) and Random Forest Models,” *IEEE Access*, vol. 12, no. June, pp. 103299–103312, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3432574.
- [5] D. E. Myori, R. Mukhaiyar, and E. Fitri, “Sistem Tracking Cahaya Matahari pada Photovoltaic,” *INVOTEK J. Inov. Vokasional dan Teknol.*, vol. 19, no. 1, pp. 9–16, 2019, doi: 10.24036/invotek.v19i1.548.
- [6] R. Pratama, “Pengembangan Sistem Akuisisi Data Arus, Tegangan, Daya Dan Temperatur Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya,” *J. Edukasi Elektro*, vol. 3, no. 2, pp. 55–62, 2020, doi: 10.21831/jee.v3i2.29812.
- [7] H. B. Nurjaman and T. Purnama, “Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Solusi Energi Terbaru Rumah Tangga,” *J. Edukasi Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 136–142, 2022, doi: 10.21831/jee.v6i2.51617.
- [8] A. Azis, M. Rijaluddin Tahfiz, and N. Nurdiana, “Perancangan Sistem Penggerak Panel Surya Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya Mobile Berbasis Arduino,” *Electr. J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 2, pp. 161–168, 2023, doi: 10.23960/elc.v17n2.2418.
- [9] Suriadi and M. Syukri, “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpadu Menggunakan Software PVSYST Pada Komplek Perumahan di Banda Aceh,” *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 9, no. 2, pp. 77–80, 2020.
- [10] F. W. Atmojo *et al.*, “Analisis Pemanfaatan Machine Learning Guna Prediksi Indeks,” vol. 9, no. 2, 2024.