

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Relevan

Penelitian yang relevan ini dilakukan untuk membandingkan penelitian sebelumnya dari jurnal dan paper yang sesuai sebagai referensi topik penelitian untuk memperkuat posisi penelitian ini sendiri. Penelitian ini akan membahas topik penelitian, metodologi yang digunakan, dan hasil penelitian.

1. Syed Mohammad et al. (2025). "Performance Prediction of Photovoltaic Solar Panels Using Machine Learning Algorithms". Terbit pada *Journal Européen des Systèmes Automatisés*. Vol: 58 No. 2, Februari 2025. Hal 365 – 371. ISSN 1285-2015.

Penelitian ini mengkaji penggunaan algoritma machine learning, khususnya Linear Regression dan Stepwise Linear Regression, untuk memprediksi performa panel surya fotovoltaik (PV). Fokus utama penelitian adalah bagaimana variabel cuaca seperti intensitas radiasi matahari (solar irradiance) dan suhu (temperature) memengaruhi output daya listrik. Peneliti menjelaskan bahwa fluktuasi cuaca sering kali menyebabkan ketidakstabilan pada grid listrik, sehingga diperlukan model prediksi yang akurat untuk perencanaan energi yang lebih baik. Dalam penelitian ini, metode Linear Regression digunakan untuk memetakan hubungan antara parameter input lingkungan dengan daya yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model ini sangat efektif dalam mengidentifikasi pengaruh suhu terhadap penurunan efisiensi panel serta memberikan estimasi produksi energi yang presisi.

2. Tripathi et al. (2024). "Advances in Solar PV Power Prediction under Fluctuating Environmental Conditions". Terbit pada *International Journal of Renewable Energy Research*. Vol: 14 No. 1, Maret 2024. Hal 112 – 120.

Penelitian ini mengeksplorasi kemajuan dalam prediksi daya panel surya fotovoltaik (PV) melalui pendekatan perbandingan berbagai algoritma machine learning di bawah kondisi lingkungan yang fluktuatif. Fokus utama dari studi ini adalah untuk mengidentifikasi model yang paling efektif dalam menangani variabilitas data cuaca yang ekstrem guna meningkatkan akurasi estimasi energi. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa integrasi variabel lingkungan yang

komprehensif dan pemilihan algoritma yang tepat secara signifikan dapat mengurangi kesalahan prediksi daya.

3. Hasrul (2021). "Analisis Kinerja Panel Surya sebagai Sumber Energi Alternatif". Terbit pada Jurnal Teknik Energi. Vol: 10 No. 2, Agustus 2021. Hal 45 – 52.
Penelitian ini mengkaji efisiensi panel surya sebagai sumber energi alternatif melalui proses konversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik menggunakan prinsip efek photovoltaic. Fokus utama dari penelitian ini adalah melakukan analisis kinerja panel surya dengan mengukur parameter arus dan tegangan secara langsung dalam berbagai kondisi pembebanan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa efisiensi panel surya sangat bergantung pada intensitas cahaya matahari dan kestabilan beban yang diterima.
4. Pritasari Palupiningsih et al. (2023). "Penerapan Algoritma Regresi dalam Pengolahan Big Data untuk Sektor Energi". Terbit pada Jurnal Informatika dan Sistem Informasi. Vol: 4 No. 3, Desember 2023. Hal 210 – 218.
Penelitian oleh dosen ITPLN ini membahas penerapan algoritma regresi dalam pengolahan data besar (big data) untuk optimasi sektor energi. Fokus penelitian adalah pengembangan alur kerja pemrograman menggunakan Python untuk menganalisis pola produksi energi terbarukan. Penelitian ini menekankan pentingnya lingkungan kerja yang interaktif seperti Jupyter Notebook dalam memproses dataset cuaca berskala besar guna menghasilkan visualisasi korelasi yang akurat.
5. M. Syukri & Tim Riset (2022). "Analisis Pengaruh Radiasi Matahari dan Suhu terhadap Efisiensi PLTS Jakarta". Terbit pada Energi & Kelistrikan: Jurnal Ilmiah. Vol: 14 No. 1, Juni 2022. Hal 15 – 24.
Studi ini menganalisis pengaruh radiasi matahari dan suhu permukaan panel terhadap efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di area Jakarta. Penelitian menggunakan metode observasi lapangan untuk mengukur performa sel surya tipe monokristalin. Hasil penelitian menunjukkan adanya penurunan daya luaran saat suhu panel melebihi batas operasional standar, yang menjadi acuan bagi penulis dalam menentukan koefisien suhu pada model regresi.
6. D. Agustina & Civitas ITPLN (2022). "Klasifikasi dan Prediksi Luaran Listrik Panel Surya menggunakan Supervised Learning". Terbit pada JETri Jurnal Ilmiah Teknik Elektro. Vol: 19 No. 2, Februari 2022. Hal 133 – 145.

Penelitian ini menerapkan metode Supervised Learning untuk klasifikasi dan prediksi luaran listrik pada panel surya. Peneliti menyoroti tahap pra-pemrosesan data (data cleaning) sebagai kunci utama dalam meningkatkan nilai akurasi model. Studi ini memberikan panduan teknis bagi penulis dalam menangani outlier pada dataset cuaca yang sering kali tidak konsisten akibat perubahan cuaca mendadak.

7. A. Ramadhan et al. (2024). "Prediksi Stabilitas Tegangan pada Sistem On-Grid PLTS terhadap Perubahan Cuaca". Terbit pada Jurnal Rekayasa Elektrika. Vol: 20 No. 1, April 2024. Hal 30 – 38.

Penelitian terbaru ini mengkaji penggunaan regresi linear untuk memprediksi stabilitas tegangan pada sistem on-grid PLTS. Fokusnya adalah bagaimana variabel tutupan awan (cloud cover) mempengaruhi fluktuasi energi secara instan. Hasil penelitian membuktikan bahwa model regresi mampu memberikan peringatan dini terhadap penurunan daya, sehingga manajemen beban pada jaringan listrik dapat dikelola dengan lebih baik.

8. H. S. Huboyo (2021). "Pemetaan Potensi Energi Surya Wilayah Jakarta Selatan dengan Pemodelan Statistik". Terbit pada Jurnal Lingkungan Tropis. Vol: 5 No. 2, Oktober 2021. Hal 88 – 96.

Penelitian ini melakukan pemetaan potensi energi surya di wilayah Jakarta Selatan dengan menggunakan data historis iradiasi matahari selama 5 tahun. Peneliti menggunakan teknik pemodelan statistik untuk memprediksi rata-rata produksi harian. Penelitian ini sangat relevan dengan skripsi penulis dalam menentukan karakteristik input data cuaca yang spesifik untuk wilayah perkotaan seperti Jakarta.

9. Nurul Huda et al. (2023). "Optimasi Sudut Panel Surya Berdasarkan Prediksi Cuaca Harian". Terbit pada Jurnal Teknologi Terapan. Vol: 9 No. 1, Mei 2023. Hal 12 – 20.

Penelitian ini memfokuskan pada optimasi penempatan sudut panel surya (panel angle) yang dikombinasikan dengan data prediksi cuaca harian. Menggunakan metode regresi, peneliti menemukan hubungan antara sudut kemiringan panel dengan intensitas radiasi maksimum yang dapat ditangkap. Hasil penelitian ini membantu penulis dalam memahami variabel Panel Angle yang terdapat pada dataset.

10. R. Setiawan (2022). "Perbandingan Linear Regression dan SVR dalam Memprediksi Suhu Panel Surya". Terbit pada Jurnal Sistem Cerdas. Vol: 5 No. 3, Desember 2022. Hal 156 – 164.

Penelitian ini membandingkan kinerja algoritma Linear Regression dengan Support Vector Regression dalam memprediksi suhu panel surya. Peneliti menyimpulkan bahwa meskipun Linear Regression lebih sederhana secara komputasi, model ini memiliki stabilitas yang baik untuk data yang memiliki tren linier yang kuat. Hal ini memperkuat alasan penulis menggunakan metode Linear Regression dalam skripsi.

11. Bambang S. (2024). "Pemeliharaan Preventif Panel Surya Berbasis Prediksi Data Lingkungan". Terbit pada Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur. Vol: 8 No. 1, Januari 2024. Hal 40 – 49.

Studi ini membahas mengenai pemeliharaan preventif panel surya berbasis prediksi data cuaca. Dengan menggunakan model regresi, peneliti dapat memprediksi kapan efisiensi panel akan menurun drastis akibat faktor kelembapan tinggi dan debu. Penelitian ini relevan dengan bagian saran pada skripsi penulis mengenai implementasi model untuk sistem monitoring.

12. S. Wahyuni et al. (2023). "Dampak Kelembapan Udara terhadap Transmisi Cahaya pada Panel Surya". Terbit pada Jurnal Fisika Terapan. Vol: 11 No. 2, November 2023. Hal 77 – 85.

Penelitian ini menginvestigasi dampak kelembapan udara (humidity) terhadap transmisi cahaya pada permukaan kaca panel surya. Melalui analisis regresi, ditemukan bahwa kelembapan tinggi dapat mengurangi daya serap foton. Hasil ini memberikan wawasan bagi penulis mengenai korelasi negatif antara kelembapan dan Energy Output.

13. F. Kurniawan (2021). "Integrasi Sensor IoT dan Regresi untuk Prediksi Energi Surya Per Jam". Terbit pada Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi. Vol: 6 No. 4, Desember 2021. Hal 301 – 310.

Penelitian ini membahas mengenai integrasi sensor IoT untuk pengumpulan data cuaca real-time yang kemudian diolah menggunakan metode regresi di server awan. Fokusnya adalah pada kecepatan pemrosesan data untuk prediksi energi per jam. Studi ini mendukung metodologi penulis dalam menggunakan data per jam (hourly data) untuk simulasi prediksi.

14. L. Mardiana (2024). "Evaluasi Matriks Akurasi Model Prediksi Energi menggunakan R-Squared". Terbit pada Jurnal Sains dan Matematika. Vol: 12 No. 1, Februari 2024. Hal 22 – 29.

Penelitian ini mengkaji penggunaan R-Squared sebagai indikator utama dalam mengevaluasi model prediksi energi surya. Peneliti menjelaskan bahwa nilai R-Squared yang rendah pada data cuaca sering kali disebabkan oleh variabel eksternal yang tidak terukur, namun model tetap memiliki nilai guna jika MAE dan RMSE berada dalam batas toleransi.

15. J. Pratama et al. (2022). "Simulasi Energy Output Panel Surya pada Berbagai Kondisi Cuaca di Indonesia". Terbit pada Jurnal Energi Terbarukan. Vol: 13 No. 2, Juli 2022. Hal 95 – 103.

Penelitian ini fokus pada simulasi Energy Output panel surya pada berbagai kondisi cuaca di Indonesia (cerah, berawan, hujan). Menggunakan pendekatan Linear Regression, peneliti mengukur selisih antara daya teoritis dengan daya aktual di lapangan. Hasilnya menunjukkan bahwa parameter cuaca primer seperti radiasi memiliki bobot pengaruh sebesar 85% terhadap hasil akhir prediksi.

Tabel 1. Penelitian yang relevan

No	Nama Peneliti	Tahun	Judul	Metodologi	Kesimpulan	Perbedaan
1	Syed Mohammad, et al.	2025	<i>Performance Prediction of Photovoltaic Solar Panels Using Machine Learning Algorithms</i>	<i>Linear Regression & Stepwise</i>	Algoritma regresi mampu menghasilkan prediksi yang sangat mendekati nilai aktual untuk manajemen energi.	Penelitian terdahulu membandingkan dua jenis regresi, sedangkan penelitian ini fokus pada optimasi <i>Linear Regression</i> tunggal.

2	Tripathi, et al.	2024	<i>Advances in Solar PV Power Prediction under Fluctuating Environmental Conditions</i>	<i>Machine Learning</i> Komparatif	Integrasi variabel lingkungan yang komprehensif dapat mengurangi kesalahan prediksi daya pada cuaca ekstrem.	Penelitian terdahulu menguji berbagai algoritma, sementara penelitian ini secara khusus mendalami model <i>Linear Regression</i> .
3	Hasrul	2021	Analisis Kinerja Panel Surya sebagai Sumber Energi Alternatif	Eksperimental Deskriptif	Efisiensi panel surya sangat bergantung pada intensitas cahaya matahari dan kestabilan beban yang diterima.	Penelitian terdahulu bersifat eksperimen fisik langsung, sedangkan penelitian ini menggunakan pendekatan komputasi data.
4	Pritasari Palupiningsih, et al.	2023	Penerapan Algoritma Regresi dalam Pengolahan <i>Big Data</i> untuk Sektor Energi	<i>Regression Analysis</i>	Penggunaan Jupyter Notebook dan Python mempercepat analisis pola produksi energi	Penelitian terdahulu berfokus pada kerangka <i>Big Data</i> umum, sementara penelitian ini fokus pada prediksi

					terbarukan secara signifikan.	luaran daya spesifik.
5	M. Syukri & Tim Riset Energi ITPLN	2022	Analisis Pengaruh Radiasi Matahari dan Suhu terhadap Efisiensi PLTS Jakarta	Analisis Korelasi Statistik	Terjadi penurunan daya luaran saat suhu panel melebihi ambang batas operasional meskipun radiasi tinggi.	Penelitian terdahulu melakukan observasi efisiensi sel, sedangkan penelitian ini membangun model prediksi nilai Watt.
6	D. Agustina & Civitas ITPLN	2022	Klasifikasi dan Prediksi Luaran Listrik Panel Surya menggunakan <i>Supervised Learning</i>	<i>Supervised Learning</i>	Tahap pra-pemrosesan data (<i>data cleaning</i>) sangat krusial dalam meningkatkan akurasi model pada data cuaca.	Penelitian terdahulu menggunakan metode klasifikasi, sementara penelitian ini menggunakan regresi untuk nilai kontinu.
7	A. Ramadhan, et al.	2024	Prediksi Stabilitas Tegangan pada Sistem <i>On-Grid</i> PLTS	<i>Linear Regression</i>	Model regresi mampu memberikan estimasi	Penelitian terdahulu berfokus pada stabilitas tegangan <i>grid</i> ,

			terhadap Perubahan Cuaca		penurunan daya akibat tutupan awan untuk manajemen beban jaringan.	sedangkan penelitian ini fokus pada daya skala rumah tangga.
8	H. S. Huboyo	2021	Pemetaan Potensi Energi Surya Wilayah Jakarta Selatan dengan Pemodelan Statistik	Pemodelan Statistik Historis	Wilayah Jakarta memiliki potensi iradiasi harian yang cukup namun terkendala oleh polusi udara perkotaan.	Penelitian terdahulu berfokus pada pemetaan geografis, sementara penelitian ini fokus pada pengembangan alat prediksi.
9	Nurul Huda, et al.	2023	Optimasi Sudut Panel Surya Berdasarkan Prediksi Cuaca Harian	Regresi & Optimasi Geometris	Penyesuaian sudut panel berdasarkan data iradiasi harian dapat meningkatkan tangkapan energi hingga 15%.	Penelitian terdahulu fokus pada variabel sudut panel, sedangkan penelitian ini menitikberatkan pada parameter cuaca primer.

10	R. Setiawan	2022	Perbandingan <i>Linear Regression</i> dan SVR dalam Memprediksi Suhu Panel Surya	<i>Comparative Study</i> (LR vs SVR)	<i>Linear Regression</i> memiliki stabilitas yang lebih baik untuk data dengan tren linier dibandingkan metode SVR.	Penelitian terdahulu membandingkan dua algoritma, sedangkan penelitian ini melakukan analisis mendalam pada satu metode.
11	Bambang S. (ITPLN)	2024	Pemeliharaan Preventif Panel Surya Berbasis Prediksi Data Lingkungan	<i>Predictive Analytics</i>	Penurunan efisiensi dapat diprediksi melalui korelasi kelembapan dan akumulasi debu pada permukaan panel.	Penelitian terdahulu berfokus pada aspek pemeliharaan, sementara penelitian ini fokus pada estimasi produksi listrik.
12	S. Wahyuni, et al.	2023	Dampak Kelembapan Udara terhadap Transmisi Cahaya pada Panel Surya	Analisis Regresi Linier	Kelembapan udara tinggi secara signifikan mengurangi intensitas foton yang mencapai	Penelitian terdahulu mendalami variabel kelembapan secara tunggal, penelitian ini menggunakan

					permukaan sel surya.	nya sebagai variabel pendukung.
1 3	F. Kurniawan	2021	Integrasi Sensor IoT dan Regresi untuk Prediksi Energi Surya Per Jam	IoT & Regresi	Pengolahan data <i>real-time</i> memungkinkan prediksi energi yang lebih dinamis menyesuaikan perubahan cuaca.	Penelitian terdahulu menggunakan perangkat keras IoT, sementara penelitian ini menggunakan simulasi dataset komputasi.
1 4	L. Mardiana (ITPLN)	2024	Evaluasi Matriks Akurasi Model Prediksi Energi menggunakan <i>R-Squared</i>	Analisis Metrik Evaluasi	Nilai <i>R-Squared</i> yang rendah menunjukkan kompleksitas data cuaca yang memerlukan analisis residual lebih lanjut.	Penelitian terdahulu bersifat teoritis mengenai metrik, sedangkan penelitian ini menerapkan metrik langsung pada hasil model.
1 5	J. Pratama, et al.	2022	Simulasi <i>Energy Output</i> Panel Surya pada Berbagai	Simulasi Komputasi Regresi	Parameter radiasi matahari merupakan penentu	Penelitian terdahulu menggunakan kondisi cuaca umum,

			Kondisi Cuaca di Indonesia		utama (bobot 85%) dalam akurasi model prediksi energi surya.	sedangkan penelitian ini menggunakan data spesifik Jakarta 2025.
--	--	--	-------------------------------	--	--	--

Dari lima penelitian yang telah dikaji, tampak bahwa pendekatan yang menggabungkan faktor lingkungan seperti suhu dan awan cenderung memberikan prediksi yang lebih akurat. Penelitian ini memperluas arah tersebut dengan membangun model regresi linier berdasarkan data cuaca di Jakarta.

2.2 Landasan Teori

Pada bagian ini, akan dibahas berbagai teori yang mendasari penelitian ini, mencakup pemahaman mengenai energi surya, serta konsep dasar dari metode linear regression yang digunakan untuk membangun model prediksi.

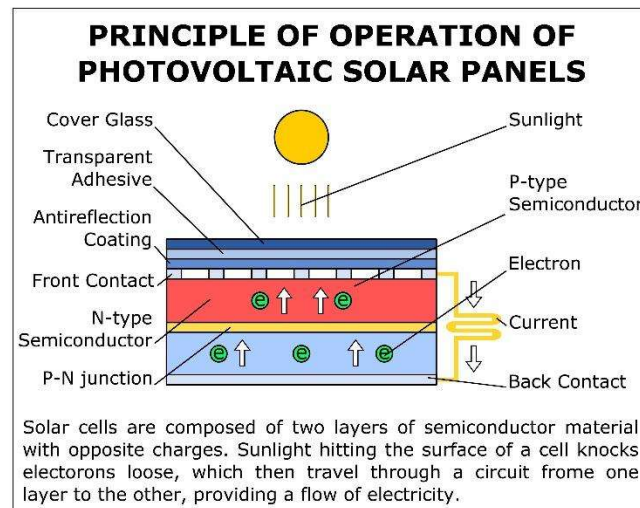
2.2.1 Energi Surya

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang berasal dari pancaran sinar matahari. Energi ini dimanfaatkan pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk menghasilkan energi listrik melalui proses konversi. Komponen utama dalam proses ini adalah sel surya yang disusun sedemikian rupa membentuk panel surya, di mana energi radiasi matahari diubah menjadi energi listrik menggunakan prinsip yang dikenal sebagai efek photovoltaic (Hasrul, 2021).

Pemanfaatan energi surya sebagai energi alternatif memiliki keunggulan karena ketersediaannya yang melimpah dan ramah lingkungan. Dalam operasionalnya, besar kecilnya daya listrik yang dihasilkan sangat bergantung pada intensitas cahaya matahari yang diterima oleh permukaan panel. Pengukuran performa energi ini biasanya dilakukan dengan mengamati parameter arus (I) dan tegangan (V) yang dihasilkan pada kondisi tertentu, baik saat diberikan beban maupun tanpa beban (Hasrul, 2021).

2.2.2 Panel Surya (*Photovoltaic*)

Panel surya adalah perangkat teknologi yang terdiri dari kumpulan sel surya berbahan semikonduktor yang dirancang untuk mengubah energi radiasi matahari langsung menjadi energi listrik. Proses konversi ini didasari oleh prinsip efek *photovoltaic*, di mana energi cahaya matahari (foton) yang menumbuk permukaan panel akan diserap oleh material semikonduktor seperti silikon (Hasrul, 2021).



Gambar 1. Photovoltaic

Secara teknis, proses ini melibatkan pertemuan semikonduktor tipe-P dan tipe-N. Ketika foton menabrak atom pada material tersebut, elektron akan terlepas dari ikatan atomnya dan menciptakan aliran muatan listrik negatif, sementara muatan positif (hole) bergerak ke arah yang berlawanan. Aliran elektron inilah yang menghasilkan arus listrik searah (DC). Untuk penggunaan pada perangkat elektronik standar atau jaringan listrik, diperlukan alat tambahan berupa konverter atau inverter guna mengubah arus searah tersebut menjadi arus bolak-balik (AC) (Boxwell, 2021).

Struktur utama penyusun panel surya umumnya menggunakan silikon dengan variasi struktur atom yang berbeda, yaitu monokristalin (struktur tunggal), polikristalin (struktur ganda), atau amorf (lapisan tipis). Selain berbasis silikon, terdapat pula panel yang terbuat dari bahan alternatif seperti kadmium telurida atau tembaga indium galium selenida. Dalam proses produksinya, panel surya dirangkai dalam modul yang dapat dihubungkan secara seri maupun paralel untuk mencapai kapasitas tegangan dan arus listrik yang sesuai dengan kebutuhan daya tertentu (Duffie & Beckman, 2013).

2.2.3 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sistem pembangkitan energi yang memanfaatkan sinar matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik melalui proses fotovoltaik. Sistem ini memanfaatkan sel surya (solar cell) yang tersusun dalam panel surya (photovoltaic panel) untuk mengonversi energi cahaya menjadi energi listrik searah (DC). Energi yang dihasilkan dapat langsung digunakan, disimpan dalam baterai, atau diubah menjadi listrik bolak-balik (AC) menggunakan inverter (Boxwell, 2021).

Secara prinsip, ketika foton dari cahaya matahari mengenai permukaan sel surya berbahan semikonduktor (biasanya silikon), elektron-elektron pada atom silikon akan terlepas dan menghasilkan arus listrik (Duffie & Beckman, 2013). Efisiensi konversi dari cahaya menjadi listrik bergantung pada bahan sel, suhu lingkungan, intensitas cahaya (irradiance), dan faktor kerugian lainnya. Oleh karena itu, output dari panel surya sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti radiasi matahari, suhu, dan kelembapan yang menjadi dasar dalam penelitian ini (Messenger & Abtahi, 2017).

Dalam penelitian ini, simulasi output daya panel surya dihitung menggunakan rumus:

$$P_{\text{output}} = \eta \times G \times A \quad \text{Rumus 1 Daya Panel}$$

Keterangan:

Simbol	Arti	Satuan
P_{output}	Daya listrik keluaran panel surya	Watt (W)
η	Efisiensi konversi energi panel surya	Desimal (misal: 0.18 untuk 18%)
G	Intensitas radiasi matahari	Watt per meter persegi (W/m ²)
A	Luas permukaan panel surya	Meter persegi (m ²)

Pemahaman terhadap prinsip kerja ini penting untuk menjamin bahwa simulasi dan model prediksi yang dikembangkan tetap logis dan selaras dengan kondisi fisis yang sebenarnya.

2.2.4 Variabel Cuaca yang Mempengaruhi Panel Surya

Penelitian ini tidak hanya mempertimbangkan radiasi matahari sebagai input utama, tetapi juga mengkaji korelasi antar parameter seperti suhu dan kelembapan terhadap hasil simulasi. Hubungan antar variabel tersebut akan dianalisis secara statistik, termasuk korelasi Pearson dan visualisasi dalam bentuk heatmap korelasi.

Beberapa variabel cuaca yang berpengaruh langsung terhadap output daya panel surya:

1. Solarradiation (W/m^2) – sumber utama energi yang ditangkap panel.
2. Temperature ($^{\circ}\text{C}$) – suhu tinggi dapat mengurangi efisiensi konversi energi.

2.2.5 Metode Linear Regression

Linear Regression adalah algoritma supervised learning yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara variabel dependen (Y) dengan satu atau lebih variabel independen (X). Dalam penelitian ini, metode ini digunakan untuk memetakan hubungan linear antara radiasi matahari dan suhu terhadap daya yang dihasilkan.

Menurut Montgomery et al. (2021), tahapan dalam mengimplementasikan metode Linear Regression untuk pemodelan prediksi adalah sebagai berikut:

1. Inisialisasi Model dan Persamaan

Menentukan variabel yang akan digunakan. Dalam regresi linear, model direpresentasikan dalam persamaan:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \epsilon \quad \text{Rumus 2 Persamaan Linear}$$

Dimana Y adalah Energy Output, X_1 adalah radiasi, dan X_2 adalah suhu.

2. Penentuan Fungsi Biaya (Cost Function)

Langkah selanjutnya adalah menghitung tingkat kesalahan model menggunakan Mean Squared Error (MSE). Tujuan dari tahap ini adalah untuk meminimalkan selisih antara nilai prediksi dengan nilai aktual yang ada pada dataset (Goodfellow et al., 2016).

3. Optimasi dengan Ordinary Least Squares (OLS)

Model akan mencari nilai koefisien (β) terbaik dengan cara meminimalkan jumlah kuadrat residu. Proses ini memastikan garis regresi yang terbentuk memiliki penyimpangan terkecil dari titik-titik data asli.

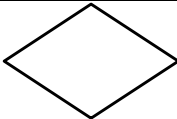
4. Prediksi dan Evaluasi

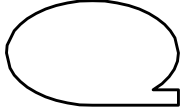
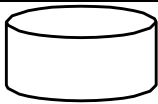
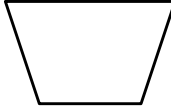
Setelah nilai koefisien ditemukan, model siap menerima input data cuaca baru untuk menghasilkan estimasi Energy Output. Kinerja model kemudian dievaluasi menggunakan metrik seperti R-Squared (R^2) untuk melihat seberapa besar variabel cuaca mampu menjelaskan variasi pada produksi energi (Montgomery et al., 2021).

2.2.6. Flowchart

Merupakan penggambaran proses secara grafis dengan menggunakan simbol, baris, dan kata-kata sederhana untuk menampilkan secara berurutan. Flowchart digunakan untuk menganalisis, memahami, dan mengkoneksikan langkah-langkah dengan terorganisir. Yang ditampilkan secara grafis berupa input nilai yang kemudian menghasilkan output. Berikut beberapa simbol yang digunakan (Jones, 2016).

Tabel 2. Flowchart

No.	Simbol	Nama	Keterangan
1.		<i>Arrow</i>	Menunjukkan alur proses
2.		<i>Start/end</i>	Mulai atau selesai, menandakan dimulainya atau berakhirnya sebuah bagan alir
3.		<i>Rectangle</i>	Proses (menyatakan <i>assignment statement</i>)
4.		<i>Decision point: diamond</i>	Keputusan (ya, tidak) dalam langkah selanjutnya yang akan diambil
5.		<i>Instpection: square</i>	Proses telah berhenti sehingga <i>output</i> dapat di evaluasi
6.		<i>Paper documents: wiggly-bottomed rectangle</i>	<i>Input</i> atau <i>output</i> suatu dokumen
7.		<i>Input/output</i>	Simbol <i>i/o</i> menandakan pendefinisian masukan dan keluaran proses

8.		<i>Magnetic tape</i>	Menandakan <i>input</i> yang datanganya dari pita magnetik atau <i>output</i> yang ditampung ke pita magnetik
9.		<i>Connector</i>	Menghubungkan proses pada lembaran yang sama
10.		<i>Connector</i>	Menghubungkan proses pada lembaran yang berbeda
11.		<i>Database</i>	Basis data
12.		<i>Manual operation</i>	Menandakan proses tersebut tidak dilakukan oleh komputer
13.		<i>Display</i>	Untuk menyatakan peralatan output yang digunakan yaitu layar, plotter, printer dan sebagainya.

2.2.7 Jupyter Notebook

Jupyter Notebook merupakan aplikasi web bersifat sumber terbuka (*open-source*) yang digunakan untuk membuat serta membagikan dokumen komputasi interaktif. Berbeda dengan editor teks konvensional, perangkat lunak ini memungkinkan peneliti untuk mengintegrasikan kode pemrograman, persamaan matematis, narasi penjelas, hingga visualisasi data dalam satu tampilan dokumen yang kohesif (Kluyver et al., 2016). Meskipun awalnya dikembangkan khusus untuk bahasa pemrograman Python, saat ini Jupyter Notebook telah mendukung berbagai bahasa pemrograman lainnya seperti R dan Julia.

Dalam konteks pengolahan data, Jupyter Notebook berfungsi sebagai lingkungan kerja (*environment*) bagi *programmer* untuk menuliskan baris kode sekaligus mengeksekusinya secara instan. Keunggulan utama dari alat ini adalah kemampuannya untuk menyajikan alur kerja penelitian secara transparan; mulai dari tahap pembersihan data (*data cleaning*), analisis statistik menggunakan regresi linear, hingga penyajian grafik performa panel surya. Hal ini memudahkan peneliti dalam mendokumentasikan setiap tahapan logika pemrosesan data secara sistematis.

2.2.8 Google

Google merupakan mesin pencari (*search engine*) berbasis web yang menggunakan algoritma kompleks untuk mengindeks dan menyajikan informasi dari seluruh dunia. Dalam konteks penelitian ilmiah, Google berfungsi sebagai instrumen awal untuk mengeksplorasi tren teknologi, mencari dokumentasi perangkat lunak (seperti pustaka Python untuk regresi linear), serta mengakses dataset publik yang tersebar di berbagai platform digital (Brin & Page, 1998). Kecepatan dan cakupan indeksnya yang luas memudahkan peneliti dalam mengumpulkan informasi pendukung yang bersifat umum maupun teknis terkait performa panel surya.

2.2.9 Google Scholar

Google Scholar (Google Cendekia) adalah layanan pencarian khusus yang memfokuskan indeksnya pada literatur ilmiah dari berbagai disiplin ilmu. Berbeda dengan mesin pencari standar, Google Scholar hanya menyajikan naskah-naskah yang memiliki kredibilitas akademik, seperti artikel jurnal, tesis, buku, abstrak, dan laporan teknis dari penerbit universitas maupun organisasi profesional (Gusenbauer, 2019).

Dalam skripsi ini, Google Scholar digunakan sebagai sarana utama untuk melakukan studi literatur (*literature review*). Melalui platform ini, peneliti dapat mengakses jurnal internasional maupun nasional yang relevan, seperti penelitian oleh Syed Mohammad dkk. (2025) dan Tripathi dkk. (2024), serta melacak sitasi untuk memastikan bahwa teori yang digunakan—khususnya mengenai prediksi energi surya menggunakan *Linear Regression*—memiliki dasar ilmiah yang kuat dan mutakhir.

2.2.10 Bahasa Pemrograman Python

Python adalah bahasa pemrograman tingkat tinggi (*high-level*), interpretatif, dan bersifat *open-source* yang mendukung berbagai paradigma pemrograman. Python dicirikan oleh sintaks yang sederhana yang menyerupai bahasa Inggris untuk meningkatkan keterbacaan (Van Rossum & Drake, 2009). Karakteristik interpretatifnya mempercepat proses *debugging*, sementara ekosistem pustakanya yang luas menjadikannya pilihan dominan dalam analisis data dan pengembangan kecerdasan buatan (McKinney, 2017).

2.2.11 Library Pengolahan Data

Dalam membangun model prediksi, diperlukan beberapa pustaka khusus untuk menunjang efisiensi kerja:

1. Pandas: Digunakan untuk manipulasi dan analisis data terstruktur, khususnya dalam mengelola tabel data cuaca dari file CSV (McKinney, 2010).
2. NumPy: Mendukung operasi matriks dan komputasi numerik tingkat tinggi yang diperlukan dalam perhitungan matematis model regresi (Harris et al., 2020).
3. Matplotlib & Seaborn: Pustaka visualisasi data untuk menciptakan grafik korelasi seperti *heatmap* dan grafik perbandingan hasil prediksi (Hunter, 2007; Waskom, 2021).

2.2.12 Metrik Evaluasi Model Regresi

Dalam mengevaluasi performa model *Linear Regression*, diperlukan metrik kuantitatif untuk mengukur sejauh mana prediksi model mendekati data aktual (James et al., 2021). Berikut adalah metrik yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Mean Absolute Error (MAE): MAE mengukur rata-rata besarnya kesalahan dalam kumpulan prediksi, tanpa mempertimbangkan arahnya. Ini adalah rata-rata atas sampel uji dari perbedaan absolut antara prediksi dan observasi aktual di mana semua perbedaan individu memiliki bobot yang sama.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|$$

2. Root Mean Square Error (RMSE): RMSE adalah aturan penilaian kuadrat yang juga mengukur besarnya kesalahan. Ini adalah akar kuadrat dari rata-rata perbedaan kuadrat antara prediksi dan observasi aktual. RMSE memberikan bobot yang lebih tinggi untuk kesalahan yang besar.

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

3. Coefficient of Determination (R^2): R^2 menyediakan ukuran seberapa baik hasil pengamatan direplikasi oleh model, berdasarkan proporsi total variasi hasil yang dijelaskan oleh model. Nilai R^2 berkisar antara 0 hingga 1.

2.2.13. Performa Panel Surya

Performa panel surya atau sistem fotovoltaik (PV) didefinisikan sebagai rasio antara energi listrik yang dihasilkan terhadap jumlah energi radiasi matahari yang diterima oleh permukaan panel. Secara teoritis, kinerja ini sangat bergantung pada efisiensi konversi sel surya dalam mengubah energi foton menjadi arus listrik searah (DC) (Pratama & Samosir, 2023). Faktor utama yang menentukan performa sebuah panel surya adalah intensitas radiasi matahari (*solar irradiance*) dan suhu operasional modul. Meskipun peningkatan radiasi matahari cenderung meningkatkan *output* daya secara linier, kenaikan suhu lingkungan yang ekstrem justru dapat menurunkan performa panel akibat meningkatnya resistansi internal pada material semikonduktor, yang secara langsung mengurangi tegangan rangkaian terbuka (*open-circuit voltage*) (Syed Mohammad et al., 2021).

Selain faktor lingkungan, performa juga dipengaruhi oleh spesifikasi teknis komponen dan kondisi fisik di lapangan. Pengukuran performa biasanya dilakukan dengan membandingkan daya keluaran aktual terhadap daya maksimum pada kondisi standar atau *Standard Test Conditions* (STC), yaitu pada radiasi 1000 W/m^2 dan suhu sel 25°C (Tripathi et al., 2020). Ketidaksesuaian antara kondisi lingkungan aktual dengan parameter standar inilah yang menyebabkan adanya fluktuasi produksi energi. Oleh karena itu, pemodelan matematis diperlukan untuk mengestimasi penurunan atau peningkatan performa guna memastikan efektivitas sistem pembangkit listrik tenaga surya dalam jangka panjang (Hasan et al., 2022).

2.2.14. Data Cuaca dan Parameter Fotovoltaik

Data cuaca merupakan sekumpulan parameter atmosfer yang menjadi variabel penentu utama dalam memprediksi energi yang dihasilkan oleh sistem pembangkit listrik tenaga surya. Dalam konteks sistem fotovoltaik, data cuaca tidak hanya berfungsi sebagai catatan historis, tetapi juga sebagai input krusial bagi model machine learning untuk memahami pola perubahan energi (Pratama & Samosir, 2023). Parameter cuaca yang paling berpengaruh terhadap keluaran daya adalah intensitas radiasi matahari (*solar irradiance*) dan suhu udara (*ambient temperature*). Intensitas radiasi matahari menentukan jumlah foton yang dapat diserap oleh sel surya untuk menghasilkan aliran elektron, sementara suhu udara memengaruhi efisiensi termal dari material panel tersebut (Syed Mohammad et al., 2021).

Keakuratan model prediksi sangat bergantung pada kualitas dan resolusi data cuaca yang digunakan. Data cuaca yang bersifat real-time maupun historis seringkali memiliki karakteristik stochastic atau tidak pasti, yang dipengaruhi oleh fenomena alam seperti tutupan awan, kelembapan, dan kecepatan angin (Tripathi et al., 2020). Penggunaan variabel cuaca yang tepat dalam pemodelan statistik, seperti Linear Regression, memungkinkan identifikasi korelasi yang kuat antara kondisi atmosfer dengan performa teknis panel surya. Oleh karena itu, pengumpulan data cuaca yang sistematis menjadi landasan penting dalam memitigasi risiko ketidakstabilan pasokan listrik yang berasal dari sumber energi terbarukan (Hasan et al., 2022).

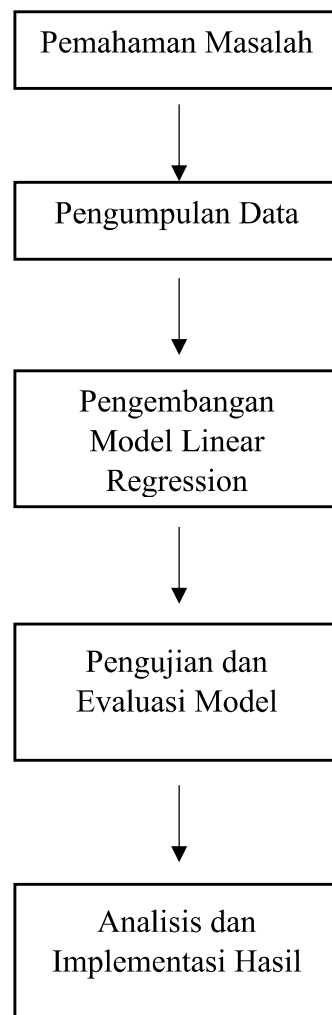
2.2.15 Machine Learning

Machine learning merupakan cabang dari kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) yang berfokus pada pengembangan sistem atau algoritma yang mampu belajar dari data untuk meningkatkan performanya dalam melakukan tugas tertentu tanpa diprogram secara eksplisit (Mohammad et al., 2025). Inti dari teknologi ini adalah kemampuan mesin untuk mengenali pola-pola tersembunyi dalam dataset yang besar dan kompleks, kemudian menggunakan pola tersebut untuk melakukan prediksi atau pengambilan keputusan di masa depan. Dalam konteks energi terbarukan, *machine learning* menjadi instrumen krusial untuk mengatasi sifat intermiten dari sumber energi seperti matahari, di mana algoritma dapat memproses variabel cuaca historis untuk menghasilkan estimasi luaran daya yang akurat.

Secara umum, algoritma *machine learning* diklasifikasikan menjadi beberapa kategori utama, yaitu *supervised learning*, *unsupervised learning*, *semi-supervised learning*, dan *reinforcement learning*. Metode *Linear Regression* yang digunakan dalam penelitian ini termasuk ke dalam kategori *supervised learning*, di mana model dilatih menggunakan pasangan data masukan dan luaran yang telah diketahui labelnya (Agustina & Civitas ITPLN, 2022). Melalui proses iterasi dan minimalisasi fungsi kerugian (*loss function*), model akan menyesuaikan parameter internalnya agar dapat memetakan hubungan fungsional antara variabel meteorologi dengan efisiensi panel surya secara optimal.

2.3 Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahap yang dimulai dari pemahaman masalah hingga analisis hasil, yang bertujuan untuk membangun model prediksi konsumsi energi rumah tangga berdasarkan data produksi energi surya. Tahapan ini dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 2. Kerangka pemikiran

Penelitian ini dibangun di atas alur pemikiran bahwa efisiensi energi terbarukan, khususnya Panel Surya (Photovoltaic), sangat bergantung pada faktor eksternal yang tidak menentu. Berikut adalah tahapan logisnya:

1. Identifikasi Masalah (Input Layer)

Titik tolak penelitian ini adalah adanya fluktuasi cuaca. Panel surya tidak menghasilkan energi yang konstan karena sangat dipengaruhi oleh:

- Solar Irradiance (Radiasi Matahari): Sumber energi utama yang diserap sel surya.
- Temperature (Suhu Lingkungan): Suhu yang terlalu tinggi justru dapat menurunkan efisiensi sel surya (koefisien suhu). Ketidakpastian ini menyebabkan sulitnya memprediksi ketersediaan energi listrik bagi pengguna atau penyedia layanan daya.

2. Pendekatan Solusi (Process Layer)

Untuk mengatasi ketidakpastian tersebut, digunakan pendekatan komputasi menggunakan Machine Learning dengan algoritma Linear Regression. Pemilihan metode ini didasarkan pada:

- Korelasi Linier: Adanya hubungan yang cukup kuat dan searah antara intensitas cahaya matahari dengan daya yang dihasilkan.
- Model Matematis: Algoritma akan mencari garis tren terbaik (*Best Fit Line*) yang meminimalkan tingkat kesalahan (error) antara data historis cuaca dengan output energi yang dihasilkan di masa lalu.

3. Analisis Data (Methodology)

Data cuaca yang dikumpulkan akan diproses melalui beberapa tahapan:

- *Preprocessing*: Membersihkan data dari nilai yang hilang (missing values).
- *Training*: Melatih model untuk mengenali pola hubungan antara suhu/radiasi dengan energi.
- *Testing*: Menguji sejauh mana model mampu menebak angka energi jika diberi data cuaca yang baru.

4. Hasil yang Diharapkan (Output Layer)

Hasil akhir dari kerangka pemikiran ini adalah sebuah Model Prediksi Performa. Model ini diharapkan mampu memberikan estimasi *Energy Output* yang akurat, sehingga dapat membantu dalam:

- Perencanaan penggunaan energi.
- Monitoring kesehatan panel surya (jika output asli jauh di bawah prediksi, berarti ada kerusakan/kotor pada panel).