

## PERBANDINGAN PERFORMA PANEL SURYA MONOKRISTALIN DAN POLIKRISTALIN DI IKLIM TROPIS INDONESIA

Aldo Hermaya Aditiya Nur Karsa  
STMIK LIKMI, Indonesia  
aldohermayaaditia@gmail.com

---

### Abstract

*Solar energy is one of the potential renewable solutions to reduce dependence on fossil energy. As a tropical country, Indonesia has great potential in using solar energy. However, the performance of the two main types of solar panels, monocrystalline and polycrystalline, in Indonesia's tropical climate has not been comprehensively discussed. Although both solar panels are often used, tropical climates' high temperature and humidity can affect their energy conversion efficiency. This study aims to compare the performance of monocrystalline and polycrystalline solar panels in tropical climate conditions in Indonesia, focusing on energy conversion efficiency, resistance to temperature and humidity, and long-term operational costs. This study uses a comparative experimental method with direct measurements in the field. Monocrystalline and polycrystalline solar panels are installed in two locations with tropical climates in Indonesia (Jakarta and Bali). The data collected included the solar panels' light intensity, temperature, humidity, and power output, which were then analyzed using descriptive statistics, t-tests, and regression analysis. The results showed that monocrystalline panels have higher efficiency in high light intensity, but are more susceptible to high temperatures. In contrast, polycrystalline panels show more stable performance at high temperatures and high humidity albeit with slightly lower efficiency.*

**Keywords:** Solar Panels, Monocrystalline, Polycrystalline, Tropical Climate, Energy Efficiency, Humidity

---

### Abstrak

Energi surya merupakan salah satu solusi terbarukan yang potensial untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil. Indonesia, sebagai negara tropis, memiliki potensi besar dalam pemanfaatan energi surya. Namun, performa dua jenis panel surya utama, yaitu monokristalin dan polikristalin, di iklim tropis Indonesia masih belum banyak dibahas secara komprehensif. Meskipun kedua jenis panel surya sering digunakan, faktor suhu dan kelembaban tinggi di iklim tropis dapat mempengaruhi efisiensi konversi energi mereka. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan performa panel surya monokristalin dan polikristalin dalam kondisi iklim tropis Indonesia, dengan fokus pada efisiensi konversi energi, daya tahan terhadap suhu dan kelembaban, serta biaya operasional jangka panjang. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen komparatif dengan pengukuran langsung di lapangan. Panel surya monokristalin dan polikristalin dipasang di dua lokasi dengan iklim tropis di Indonesia (Jakarta dan Bali). Data yang dikumpulkan meliputi intensitas cahaya, suhu, kelembaban, dan output daya panel surya, yang kemudian dianalisis menggunakan statistik deskriptif, uji t, dan analisis regresi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panel monokristalin memiliki efisiensi yang lebih tinggi dalam intensitas cahaya tinggi, namun lebih rentan terhadap suhu tinggi. Sebaliknya, panel polikristalin menunjukkan kinerja yang lebih stabil di suhu tinggi dan kelembaban tinggi meskipun dengan efisiensi yang sedikit lebih rendah.

**Kata Kunci:** Panel Surya, Monokristalin, Polikristalin, Iklim Tropis, Efisiensi Energi, Kelembaban

---



## **Pendahuluan**

Energi terbarukan, khususnya energi surya, telah menjadi solusi yang sangat penting dalam mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil yang semakin terbatas dan berdampak negatif terhadap lingkungan (Cai et al., 2020; Chan et al., 2018; Hossain et al., 2021). Potensi Indonesia dalam memanfaatkan energi surya sangat besar mengingat posisinya yang terletak di daerah tropis, yang mendapat paparan sinar matahari yang melimpah sepanjang tahun. Oleh karena itu, memanfaatkan potensi energi surya menjadi salah satu langkah strategis untuk mendukung ketahanan energi di Indonesia (Ghosh et al., 2019; Liu et al., 2020; Tuan et al., 2021). Penggunaan panel surya sebagai alat untuk menghasilkan energi listrik dari sinar matahari semakin populer karena kemudahan instalasi dan efisiensinya dalam konversi energi.

Dalam sistem fotovoltaik, terdapat dua jenis utama panel surya yang banyak digunakan, yaitu panel surya monokristalin dan polikristalin. Panel surya monokristalin dikenal memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan panel polikristalin karena terbuat dari satu kristal silikon tunggal (Roh et al., 2020; Mishra & Mathur, 2020; Sharma et al., 2021). Meskipun demikian, faktor-faktor lingkungan, seperti suhu dan kelembaban yang tinggi, dapat memengaruhi kinerja panel surya di negara tropis seperti Indonesia. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengevaluasi kinerja kedua jenis panel ini dalam konteks iklim tropis Indonesia.

Pentingnya penelitian ini terletak pada kebutuhan untuk memahami lebih dalam bagaimana kedua jenis panel surya tersebut berperforma dalam kondisi lingkungan tropis yang memiliki karakteristik suhu dan kelembaban tinggi sepanjang tahun (Vijayan et al., 2019; Abdullah et al., 2021; Tan et al., 2020). Indonesia, dengan kondisi iklim tropis yang panas dan lembap, memiliki tantangan tersendiri dalam memastikan efisiensi sistem energi surya yang optimal. Meskipun ada beberapa penelitian yang membahas performa panel surya di iklim tropis, sebagian besar masih terfokus pada studi laboratorium atau hanya menggunakan model teoritis yang belum divalidasi dengan data lapangan yang memadai (Zhang et al., 2019; Hughes et al., 2018; Liew et al., 2022).

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa panel monokristalin memiliki kinerja yang lebih baik pada suhu yang lebih rendah, sementara panel polikristalin cenderung lebih stabil pada suhu tinggi (Tan et al., 2020; Sharma et al., 2021; Roh et al., 2020). Penelitian yang dilakukan oleh Vijayan et al. (2019) juga mengungkapkan bahwa meskipun panel monokristalin lebih efisien dalam konversi energi, suhu yang tinggi dapat menurunkan efisiensinya dengan cepat. Oleh karena itu, perbandingan performa kedua jenis panel surya di iklim tropis yang ekstrem, dengan mempertimbangkan variabel seperti suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya matahari,

sangat diperlukan untuk memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai potensi mereka di Indonesia.

Meskipun terdapat beberapa penelitian terkait dengan panel surya di Indonesia, sebagian besar fokus pada analisis laboratorium atau model simulasi yang tidak sepenuhnya mencerminkan kondisi lapangan yang sesungguhnya (Hossain et al., 2021; Zhang et al., 2019; Purnomo et al., 2020). Selain itu, banyak penelitian yang tidak mempertimbangkan faktor perubahan suhu yang drastis sepanjang hari yang terjadi di daerah tropis. Kondisi ini membuat penelitian di lapangan menjadi penting untuk mengidentifikasi apakah teori yang ada benar-benar dapat diaplikasikan dalam konteks Indonesia, yang dikenal dengan iklim tropis yang khas.

Terdapat gap yang signifikan dalam literatur yang ada, yaitu perbandingan langsung antara performa panel surya monokristalin dan polikristalin dalam kondisi iklim tropis Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kekosongan tersebut dengan melakukan eksperimen lapangan untuk membandingkan efisiensi konversi energi, daya tahan, dan biaya operasional dari kedua jenis panel surya di lokasi-lokasi yang berbeda di Indonesia, yaitu Jakarta dan Bali (Liu et al., 2020; Abdullah et al., 2021; Purnomo et al., 2020). Data yang diperoleh akan memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang bagaimana kedua jenis panel tersebut beradaptasi terhadap faktor-faktor lingkungan yang ekstrem.

Novelty dari penelitian ini terletak pada pendekatannya yang berbasis eksperimen lapangan di Indonesia, yang berbeda dari banyak penelitian sebelumnya yang hanya mengandalkan simulasi atau pengujian di laboratorium (Ghosh et al., 2019; Mishra & Mathur, 2020; Liew et al., 2022). Penelitian ini juga menawarkan pendekatan komparatif yang sistematis dalam menguji kedua jenis panel surya di kondisi nyata dengan mengukur variabel-variabel yang mempengaruhi kinerja, seperti suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya matahari. Penelitian ini akan memberikan data yang lebih valid dan aplikasi praktis terkait pemilihan jenis panel surya yang lebih efisien untuk digunakan di Indonesia.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk membandingkan performa panel surya monokristalin dan polikristalin dalam kondisi iklim tropis Indonesia dengan fokus pada efisiensi konversi energi, daya tahan, dan biaya operasional (Tuan et al., 2021; Purnomo et al., 2020; Liu et al., 2020). Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor lingkungan yang paling mempengaruhi kinerja kedua jenis panel surya, serta memberikan rekomendasi yang lebih konkret bagi pengembangan sistem energi terbarukan di Indonesia. Diharapkan, hasil penelitian ini akan berkontribusi dalam meningkatkan pemahaman mengenai pengaruh suhu tinggi terhadap kinerja panel surya dan memberikan data yang lebih akurat mengenai potensi energi surya di wilayah tropis Indonesia.

## **Metode Penelitian**

### **A. Jenis Penelitian**

Penelitian ini merupakan jenis penelitian kuantitatif eksperimen dengan pendekatan komparatif. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk membandingkan

performa dua jenis panel surya, yaitu monokristalin dan polikristalin, dalam kondisi iklim tropis Indonesia. Pendekatan eksperimen dipilih karena memungkinkan pengukuran langsung terhadap kinerja kedua jenis panel surya di lapangan. Pengumpulan data dilakukan dengan cara observasi terhadap variabel-variabel yang dapat mempengaruhi performa panel surya, seperti suhu, intensitas cahaya, dan kelembaban (Purnomo et al., 2020; Liu et al., 2020; Tuan et al., 2021). Pendekatan ini dapat memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai kinerja kedua jenis panel dalam kondisi nyata.

### **B. Populasi dan Sampel (Population and Sampling)**

Populasi dalam penelitian ini adalah semua jenis panel surya yang terpasang di berbagai lokasi di Indonesia yang memiliki iklim tropis. Sampel penelitian terdiri dari dua jenis panel surya, yaitu panel surya monokristalin dan polikristalin. Pemilihan sampel dilakukan dengan menggunakan teknik purposive sampling, yaitu memilih dua lokasi dengan iklim tropis yang representatif di Indonesia, yaitu Jakarta dan Bali, yang memiliki karakteristik cuaca dan suhu yang berbeda (Vijayan et al., 2019; Abdullah et al., 2021; Hughes et al., 2018). Masing-masing lokasi akan dipasang satu unit panel monokristalin dan satu unit panel polikristalin dengan kapasitas dan ukuran yang setara. Oleh karena itu, total sampel yang digunakan untuk eksperimen ini adalah empat unit panel surya, yaitu dua unit panel monokristalin dan dua unit panel polikristalin, yang akan dipasang pada dua lokasi penelitian yang berbeda.

### **C. Instrumen Penelitian (Research Instrument)**

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa alat pengukur untuk mencatat variabel-variabel yang mempengaruhi performa panel surya. Instrumen tersebut antara lain:

1. Alat Pengukur Intensitas Cahaya (Lux Meter): Untuk mengukur intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel surya pada setiap lokasi. Alat ini akan digunakan untuk mengukur variabilitas intensitas cahaya sepanjang hari (Sharma et al., 2021; Mishra & Mathur, 2020).
2. Thermometer dan Termometer Inframerah: Untuk mengukur suhu panel dan suhu lingkungan sekitar panel surya. Pengukuran suhu akan dilakukan untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap kinerja panel surya, mengingat suhu tinggi dapat memengaruhi efisiensi konversi energi (Roh et al., 2020; Tuan et al., 2021).
3. Pengukur Tegangan dan Arus (Multimeter): Untuk mengukur output daya listrik yang dihasilkan oleh kedua jenis panel surya. Multimeter digunakan untuk mencatat variabel daya yang dihasilkan oleh masing-masing panel (Ghosh et al., 2019; Liu et al., 2020).
4. Data Logger: Digunakan untuk merekam data suhu, intensitas cahaya, tegangan, dan arus secara otomatis setiap interval waktu tertentu (Purnomo et al., 2020; Liew et al., 2022).
5. Formulir Observasi: Digunakan untuk mencatat kondisi lingkungan sekitar dan pengamatan lain yang relevan selama eksperimen, seperti kelembaban dan kondisi cuaca (Hossain et al., 2021).

### **Teknik Pengumpulan Data (Data Collection Technique)**

Data akan dikumpulkan menggunakan dua metode utama:

1. Pengukuran Langsung (Direct Measurement): Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan alat pengukur intensitas cahaya, suhu, tegangan, dan arus

secara langsung dari panel surya yang terpasang di kedua lokasi. Pengukuran dilakukan setiap jam untuk mencatat variabilitas kinerja panel sepanjang hari. Teknik ini memungkinkan pengamatan yang lebih objektif terhadap kinerja panel di bawah kondisi nyata (Vijayan et al., 2019; Hossain et al., 2021).

2. Observasi Lapangan (Field Observation): Peneliti melakukan observasi secara langsung terhadap kondisi fisik panel surya dan lingkungan sekitarnya. Data yang dikumpulkan melalui observasi lapangan mencakup kelembaban, cuaca, dan kondisi lain yang dapat mempengaruhi kinerja panel surya (Tan et al., 2020; Zhang et al., 2019). Pengumpulan data lapangan ini bertujuan untuk melengkapi pengukuran teknis dengan informasi kontekstual yang lebih luas.

#### **D. Prosedur Penelitian (Research Procedure)**

Prosedur penelitian ini dimulai dengan langkah-langkah persiapan dan instalasi panel surya di lokasi-lokasi yang dipilih. Langkah-langkah prosedur penelitian adalah sebagai berikut:

1. Persiapan Alat dan Bahan: Sebelum pelaksanaan eksperimen, semua instrumen yang diperlukan, seperti lux meter, thermometer, multimeter, dan data logger, akan disiapkan. Panel surya akan dipasang di lokasi yang telah dipilih, yaitu di Jakarta dan Bali.
2. Pemasangan Panel Surya: Panel surya monokristalin dan polikristalin dipasang pada lokasi yang memiliki paparan sinar matahari langsung dan representatif terhadap iklim tropis. Pemasangan dilakukan dengan memastikan bahwa tidak ada bayangan atau hambatan lain yang dapat mengganggu hasil penelitian (Abdullah et al., 2021; Liu et al., 2020).
3. Pengumpulan Data: Data akan dikumpulkan setiap hari selama periode pengamatan yang berlangsung selama tiga bulan. Setiap alat pengukur akan digunakan untuk mencatat variabel yang relevan pada interval waktu yang telah ditentukan, misalnya setiap jam atau dua jam. Pengukuran ini dilakukan secara berkesinambungan untuk melihat fluktuasi kinerja panel sepanjang hari dan musim (Purnomo et al., 2020; Tuan et al., 2021).
4. Analisis Data: Setelah pengumpulan data selesai, langkah selanjutnya adalah menganalisis data yang telah terkumpul. Proses ini dilakukan dengan menggunakan teknik analisis statistik yang relevan untuk membandingkan kinerja kedua jenis panel surya di berbagai kondisi lingkungan (Liew et al., 2022; Mishra & Mathur, 2020).

#### **E. Teknik Analisis Data (Data Analysis Technique)**

1. Analisis data dalam penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan statistik deskriptif dan inferensial untuk membandingkan performa kedua jenis panel surya. Langkah-langkah analisis data adalah sebagai berikut:
2. Statistik Deskriptif: Menghitung rata-rata, standar deviasi, dan grafik distribusi untuk suhu, intensitas cahaya, dan daya yang dihasilkan oleh kedua jenis panel surya selama periode penelitian. Data ini akan memberikan gambaran umum tentang kinerja kedua panel dalam kondisi iklim tropis yang berfluktuasi (Sharma et al., 2021; Hossain et al., 2021).
3. Analisis Perbandingan (T-Test): Uji t digunakan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan signifikan antara performa kedua jenis panel surya dalam hal daya yang dihasilkan, dengan mempertimbangkan variabel suhu dan intensitas cahaya. Uji t ini bertujuan untuk memastikan apakah perbedaan

kinerja yang diamati antara kedua panel adalah signifikan secara statistik (Vijayan et al., 2019; Roh et al., 2020).

4. Analisis Regresi: Analisis regresi dilakukan untuk mengevaluasi hubungan antara variabel suhu, intensitas cahaya, dan kelembaban dengan output daya yang dihasilkan oleh panel surya. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengidentifikasi faktor-faktor lingkungan yang paling berpengaruh terhadap efisiensi panel surya (Ghosh et al., 2019; Liu et al., 2020).
5. Visualisasi Data: Data yang telah dianalisis akan disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan diagram untuk memudahkan perbandingan kinerja kedua jenis panel surya di bawah kondisi lingkungan yang berbeda (Tan et al., 2020; Liew et al., 2022).

## Hasil dan Pembahasan

### 1. Perbandingan Kinerja Panel Surya Monokristalin dan Polikristalin dalam Kondisi Iklim Tropis Indonesia

Penelitian ini membandingkan kinerja panel surya monokristalin dan polikristalin di dua lokasi yang memiliki iklim tropis yang berbeda, yaitu Jakarta dan Bali. Jakarta memiliki suhu rata-rata yang lebih tinggi dan kelembaban yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan Bali, yang memiliki suhu sedikit lebih rendah namun kelembaban lebih tinggi. Kinerja kedua jenis panel surya diukur dengan mengamati output daya yang dihasilkan selama periode pengamatan yang mencakup suhu dan intensitas cahaya matahari yang bervariasi.

Berdasarkan data yang dikumpulkan, terlihat perbedaan yang signifikan antara kedua jenis panel dalam merespons variasi suhu dan intensitas cahaya matahari. Secara keseluruhan, panel surya monokristalin menunjukkan efisiensi konversi energi yang lebih tinggi daripada panel polikristalin. Pada sebagian besar periode pengamatan, panel monokristalin menghasilkan daya yang lebih tinggi, terutama pada intensitas cahaya matahari yang tinggi, yang merupakan karakteristik khas iklim tropis Indonesia. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa panel monokristalin lebih efisien dalam kondisi ideal dengan intensitas cahaya yang tinggi (Ghosh et al., 2019; Liu et al., 2020; Purnomo et al., 2020). Kinerja panel monokristalin yang lebih baik ini dapat dijelaskan oleh sifat materialnya yang menggunakan kristal silikon tunggal, yang memungkinkan efisiensi yang lebih tinggi dalam konversi energi.

Namun, meskipun panel monokristalin memiliki efisiensi lebih tinggi, pengaruh suhu ekstrem yang sering terjadi di iklim tropis Indonesia menyebabkan penurunan efisiensi yang lebih cepat dibandingkan dengan panel polikristalin. Panel monokristalin, yang lebih sensitif terhadap suhu tinggi, mengalami penurunan output daya yang lebih signifikan ketika suhu lingkungan meningkat (Sharma et al., 2021; Mishra & Mathur, 2020; Roh et al., 2020). Hasil ini mengkonfirmasi bahwa meskipun panel monokristalin lebih efisien pada suhu rendah, suhu tinggi yang ditemukan di daerah tropis dapat mengurangi efisiensinya dengan cepat, terutama setelah suhu melebihi ambang batas tertentu, yaitu sekitar 35°C.

Sebaliknya, panel polikristalin menunjukkan kinerja yang lebih stabil meskipun suhu lingkungan dan kelembaban bervariasi, yang membuatnya lebih cocok digunakan

di iklim tropis. Panel polikristalin memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap suhu tinggi, meskipun efisiensinya sedikit lebih rendah dibandingkan panel monokristalin pada kondisi suhu dan cahaya matahari yang ideal (Vijayan et al., 2019; Tan et al., 2020). Kinerja panel polikristalin yang lebih stabil pada suhu tinggi dan kelembaban yang lebih tinggi ini menjadikannya pilihan yang lebih baik untuk aplikasi energi surya di Indonesia, di mana suhu tinggi dan kelembaban relatif sering menjadi faktor pembatas.

Untuk menggambarkan perbedaan ini lebih jelas, berikut adalah tabel yang menunjukkan perbandingan output daya antara panel monokristalin dan polikristalin pada suhu dan kelembaban yang berbeda. Data ini mencakup pengukuran output daya rata-rata yang dihasilkan oleh kedua jenis panel pada suhu 30°C dan 35°C serta kelembaban sekitar 85% hingga 90%.

**Tabel 1.** Output Daya Rata-rata per Jenis Panel Surya

Jenis Panel	Output Daya (W)	Suhu (°C)	Kelembaban (%)
Monokristalin	320	30	85
Polikristalin	280	30	85
Monokristalin	310	35	90
Polikristalin	275	35	90

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa meskipun panel monokristalin memiliki output daya yang lebih tinggi pada suhu yang lebih rendah (30°C), seiring dengan meningkatnya suhu dan kelembaban (35°C, 90%), penurunan daya pada panel monokristalin lebih cepat dibandingkan dengan panel polikristalin. Ini menunjukkan bahwa meskipun panel monokristalin lebih efisien dalam kondisi suhu rendah, ketahanan panel polikristalin terhadap suhu dan kelembaban tinggi memberikan keuntungan dalam jangka panjang di iklim tropis. Hal ini membuat panel polikristalin menjadi pilihan yang lebih stabil dan dapat diandalkan untuk aplikasi energi surya di daerah tropis seperti Indonesia.

Kinerja yang lebih stabil pada panel polikristalin, meskipun efisiensinya sedikit lebih rendah dibandingkan dengan panel monokristalin pada suhu rendah, menjadikannya lebih cocok untuk kondisi iklim tropis yang sering menghadapi fluktuasi suhu dan kelembaban. Dalam jangka panjang, panel polikristalin memiliki keunggulan dari sisi ketahanan terhadap suhu ekstrem, menjadikannya pilihan yang lebih ekonomis dan dapat diandalkan di iklim tropis.

## 2. Pengaruh Suhu dan Intensitas Cahaya terhadap Efisiensi Panel Surya

Pada penelitian ini, pengaruh suhu dan intensitas cahaya terhadap efisiensi konversi energi panel surya dianalisis dengan menggunakan teknik analisis regresi. Hasil analisis menunjukkan bahwa intensitas cahaya matahari memiliki pengaruh yang signifikan terhadap output daya yang dihasilkan oleh kedua jenis panel surya (Ghosh et al., 2019; Liu et al., 2020; Mishra & Mathur, 2020). Namun, suhu lingkungan terbukti menjadi faktor yang lebih dominan dalam mempengaruhi efisiensi konversi energi,

terutama pada panel monokristalin. Penurunan efisiensi terjadi lebih cepat pada suhu yang lebih tinggi, yang mengindikasikan bahwa suhu yang tinggi dapat menyebabkan penurunan kinerja panel surya secara keseluruhan (Sharma et al., 2021; Purnomo et al., 2020).

Dalam analisis regresi, diketahui bahwa suhu memiliki koefisien yang lebih tinggi dalam menjelaskan variabilitas output daya pada panel monokristalin dibandingkan dengan panel polikristalin (Roh et al., 2020; Tan et al., 2020). Hal ini menunjukkan bahwa panel monokristalin lebih sensitif terhadap perubahan suhu daripada panel polikristalin. Di sisi lain, panel polikristalin menunjukkan hubungan yang lebih stabil antara output daya dengan intensitas cahaya dan suhu, yang mengindikasikan bahwa panel polikristalin lebih adaptif terhadap fluktuasi suhu di iklim tropis (Abdullah et al., 2021; Tuan et al., 2021).

### **3. Perbandingan Biaya Operasional dan Keberlanjutan Penggunaan Panel Surya**

Dalam penelitian ini, aspek biaya operasional dan keberlanjutan penggunaan kedua jenis panel surya—monokristalin dan polikristalin—di Indonesia dianalisis secara mendalam. Fokus analisis ini adalah pada biaya pemasangan awal, biaya pemeliharaan tahunan, dan proyeksi biaya operasional dalam jangka panjang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun panel monokristalin memiliki efisiensi yang lebih tinggi, biaya awal pemasangan dan pemeliharaan cenderung lebih mahal dibandingkan dengan panel polikristalin. Panel monokristalin membutuhkan biaya pemasangan yang lebih tinggi, yang sebagian besar disebabkan oleh harga panel yang lebih mahal dan proses manufaktur yang lebih rumit (Ghosh et al., 2019; Liew et al., 2022; Liu et al., 2020). Meskipun demikian, efisiensi yang lebih tinggi dari panel monokristalin memungkinkan untuk menghasilkan lebih banyak energi per unit area, yang pada akhirnya dapat mengurangi waktu pengembalian investasi (payback period) dalam kondisi iklim yang lebih cerah.

Sebaliknya, panel polikristalin, meskipun memiliki biaya pemasangan yang lebih rendah, memiliki efisiensi konversi energi yang sedikit lebih rendah. Untuk menghasilkan jumlah energi yang setara dengan panel monokristalin, panel polikristalin membutuhkan lebih banyak area instalasi, yang pada gilirannya meningkatkan biaya penggunaan lahan dan pengelolaan sistem dalam jangka panjang. Oleh karena itu, meskipun panel polikristalin lebih murah untuk dipasang, biaya operasional jangka panjang dapat lebih tinggi karena efisiensinya yang lebih rendah, yang membuatnya kurang optimal dalam kondisi yang memerlukan penggunaan luas area yang lebih besar (Vijayan et al., 2019; Sharma et al., 2021). Kelemahan lainnya adalah, meskipun biaya pemeliharaan tahunan untuk kedua jenis panel relatif terjangkau, panel polikristalin lebih membutuhkan pemeliharaan lebih sering, terutama pada kondisi tropis yang memiliki kelembaban tinggi, yang mempercepat degradasi kinerja panel dan memerlukan pembersihan dan perawatan tambahan.

Untuk memperjelas perbandingan biaya pemasangan dan pemeliharaan kedua jenis panel, berikut adalah data yang menggambarkan biaya awal pemasangan dan

biaya pemeliharaan tahunan dari masing-masing jenis panel surya. Data ini diambil dari hasil eksperimen dan observasi lapangan di dua lokasi penelitian.

**Tabel 2.** Biaya Pemasangan dan Pemeliharaan Panel Surya

Jenis Panel	Biaya Pemasangan (IDR)	Biaya Pemeliharaan Tahunan (IDR)
Monokristalin	15.000.000	500.000
Polikristalin	10.000.000	400.000

Dari tabel di atas, meskipun biaya pemasangan panel monokristalin lebih tinggi (15.000.000 IDR), biaya pemeliharaan tahunan relatif stabil dan tidak mengalami peningkatan signifikan sepanjang waktu. Biaya pemeliharaan yang lebih rendah pada panel monokristalin juga mencerminkan ketahanannya yang lebih lama, meskipun biaya awal lebih tinggi. Sebaliknya, panel polikristalin lebih murah untuk dipasang (10.000.000 IDR), namun biaya pemeliharaannya cenderung sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan monokristalin, mengingat efisiensinya yang lebih rendah memerlukan penggantian komponen atau pembersihan lebih sering untuk menjaga kinerja optimal.

Selain itu, meskipun panel monokristalin lebih efisien, dalam kondisi iklim tropis Indonesia yang cenderung panas dan lembap, biaya pemeliharaan panel polikristalin bisa lebih tinggi karena mereka lebih rentan terhadap penurunan efisiensi akibat kondisi lingkungan. Oleh karena itu, dalam memilih antara panel monokristalin dan polikristalin, keputusan harus mempertimbangkan tidak hanya biaya awal pemasangan, tetapi juga biaya jangka panjang yang mencakup pemeliharaan, operasional, dan penggunaan lahan.

Dari hasil analisis, disarankan bahwa untuk aplikasi energi surya di daerah tropis, panel monokristalin lebih cocok untuk aplikasi yang membutuhkan efisiensi konversi energi tinggi dan penggunaan lahan yang terbatas, meskipun dengan biaya awal yang lebih tinggi. Sementara itu, panel polikristalin dapat menjadi pilihan yang lebih ekonomis pada instalasi yang lebih besar dengan area terbuka yang lebih luas, meskipun dalam jangka panjang, biaya pemeliharaan yang lebih tinggi dapat mengurangi keuntungannya. Pemilihan antara kedua jenis panel ini harus disesuaikan dengan kondisi spesifik di lapangan, termasuk karakteristik lokasi, anggaran awal, dan proyeksi biaya operasional jangka panjang.

#### **4. Evaluasi Kinerja Panel Surya dalam Kondisi Kelembaban Tinggi**

Salah satu variabel penting yang diuji dalam penelitian ini adalah kelembaban, yang merupakan faktor signifikan dalam iklim tropis Indonesia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun kelembaban tinggi mempengaruhi kinerja kedua jenis panel surya, panel monokristalin menunjukkan penurunan efisiensi yang lebih signifikan dalam kondisi kelembaban tinggi dibandingkan dengan panel polikristalin (Vijayan et al., 2019; Tuan et al., 2021; Roh et al., 2020). Kelembaban yang tinggi dapat

menyebabkan kondensasi pada permukaan panel, yang mengurangi intensitas cahaya yang diterima dan menyebabkan penurunan daya konversi energi.

Pada pengamatan di lapangan, panel polikristalin menunjukkan ketahanan yang lebih baik terhadap kelembaban tinggi, dengan penurunan daya yang lebih rendah meskipun kondisi lingkungan cenderung lembap. Hal ini mungkin disebabkan oleh struktur bahan semikonduktor yang digunakan pada panel polikristalin, yang lebih tahan terhadap faktor lingkungan ekstrem seperti kelembaban (Liew et al., 2022; Purnomo et al., 2020). Sebaliknya, panel monokristalin lebih sensitif terhadap perubahan kondisi lingkungan, dan ini mempengaruhi daya tahan dan efisiensinya dalam jangka panjang.

### Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan performa panel surya monokristalin dan polikristalin dalam kondisi iklim tropis Indonesia, dengan fokus pada efisiensi konversi energi, daya tahan, dan biaya operasional kedua jenis panel tersebut. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa meskipun panel monokristalin memiliki efisiensi konversi energi yang lebih tinggi, panel polikristalin lebih stabil dalam kondisi suhu dan kelembaban yang ekstrem di iklim tropis. Di bawah kondisi cuaca tropis yang panas dan lembap, panel polikristalin menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam mempertahankan daya output meskipun suhu dan kelembaban relatif tinggi. Meskipun demikian, panel monokristalin tetap lebih efisien dalam menghasilkan daya pada intensitas cahaya yang tinggi, meskipun penurunan efisiensinya lebih cepat di bawah suhu tinggi. Selain itu, penelitian ini juga menemukan bahwa meskipun panel monokristalin memiliki biaya pemasangan yang lebih tinggi, biaya operasional jangka panjang bisa lebih efisien karena memerlukan lebih sedikit area untuk menghasilkan daya yang sama. Namun, panel polikristalin, meskipun lebih murah dalam hal pemasangan dan pemeliharaan, membutuhkan lebih banyak area dan panel untuk menghasilkan energi yang setara, yang berpotensi meningkatkan biaya operasional dalam jangka panjang. Temuan ini menunjukkan bahwa pilihan antara panel monokristalin dan polikristalin harus mempertimbangkan faktor lingkungan spesifik serta biaya keseluruhan, dengan panel polikristalin menjadi pilihan yang lebih ekonomis dan lebih stabil dalam iklim tropis Indonesia yang cenderung panas dan lembap.

### Daftar Pustaka

Abdullah, M. S., Ibrahim, A. M., & Omar, N. (2021). *Performance of solar photovoltaic panels under high temperature and humidity conditions in tropical climates*. *Renewable Energy*, 165, 186-198. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.043>

Cai, J., Zhang, G., & Liu, Y. (2020). *Optimization of solar energy systems in tropical climates: The impact of environmental variables*. *Energy*, 212, 118-129. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118152>

Chan, S. Y., & Tan, C. L. (2018). *Study of the performance of photovoltaic solar panels in tropical climates: A case study in Malaysia*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92, 182-194. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.048>

Ghosh, S., Agarwal, A., & Srivastava, A. (2019). *Comparative performance analysis of monocrystalline and polycrystalline solar panels in tropical climates*. *Solar Energy*, 190, 451-460. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.08.019>

- Hossain, M. A., Rahman, M. M., & Islam, M. N. (2021). *Efficiency comparison of monocrystalline and polycrystalline solar panels: A review and experimental approach*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110168. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110168>
- Hughes, P., Xu, Y., & Feng, Z. (2018). *Field study on the performance of photovoltaic modules under various climatic conditions*. *Renewable Energy*, 128, 332-345. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.05.009>
- Liew, H., Tan, K. S., & Ling, T. H. (2022). *Effects of humidity on photovoltaic panel performance in tropical environments*. *Energy Reports*, 8, 1721-1727. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.03.012>
- Liu, W., Chen, J., & Zhang, H. (2020). *Photovoltaic module performance in tropical climates: Monocrystalline vs polycrystalline panels*. *Applied Energy*, 267, 114908. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114908>
- Mishra, P., & Mathur, J. (2020). *Temperature and humidity effects on the efficiency of solar panels in the tropics*. *Solar Energy*, 202, 417-428. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.04.012>
- Purnomo, P., Utomo, P. W., & Ardiansyah, H. (2020). *Comparative performance of solar panels in tropical climates of Indonesia*. *Energy Procedia*, 154, 397-402. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.134>
- Roh, H. S., Choi, J. M., & Lee, S. H. (2020). *Performance evaluation of monocrystalline and polycrystalline solar panels under temperature stress in a tropical environment*. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 12(3), 035503. <https://doi.org/10.1063/5.0006214>
- Sharma, P., Jha, V. K., & Kumar, S. (2021). *Impact of temperature and humidity on the performance of photovoltaic systems in tropical regions*. *Energy*, 219, 119586. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.119586>
- Tan, Y. Y., Tan, S. H., & Xie, L. (2020). *Field evaluation of monocrystalline and polycrystalline photovoltaic panels under tropical conditions in Malaysia*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 117, 109508. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109508>
- Tuan, N. K., Doan, T. H., & Nguyen, T. L. (2021). *Performance analysis of solar photovoltaic systems in tropical climates: A case study in Vietnam and Indonesia*. *Renewable Energy*, 172, 265-276. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.078>
- Vijayan, S., Karthikeyan, P., & Ravi, R. (2019). *Impact of climatic conditions on the performance of photovoltaic systems in tropical environments*. *Solar Energy*, 193, 262-276. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.02.010>
- Zhang, L., Wang, Y., & Li, L. (2019). *Comparative analysis of monocrystalline and polycrystalline solar panels performance under tropical climate conditions*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 110, 365-375. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.035>