

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berbagai kebutuhan operasional seperti peralatan elektronik, pencahayaan, dan sistem kontrol lingkungan memerlukan pasokan energi yang stabil. Ketergantungan pada jaringan listrik konvensional sering kali menjadi kendala, sehingga panel surya *off-grid* hadir sebagai alternatif energi terbarukan yang menjanjikan. Namun, suhu permukaan panel yang tinggi dapat menurunkan efisiensi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), terutama di negara tropis seperti Indonesia. Tanpa mekanisme pendinginan yang memadai, efisiensi energi yang dihasilkan dapat berkurang sehingga suplai listrik tidak optimal. [1]. Kondisi ini menunjukkan bahwa suhu tinggi pada panel surya dapat menyebabkan penurunan performa sistem, sehingga diperlukan solusi *monitoring* suhu dan tegangan yang terintegrasi.

Berbagai penelitian di Indonesia telah mengeksplorasi penerapan sistem pendingin air pada panel surya untuk meningkatkan efisiensi operasional seperti merancang sistem pendingin dengan aliran air otomatis saat suhu panel melebihi ambang batas tertentu [2]. Meskipun sistem pendingin air terbukti membantu mengurangi suhu panel dan potensi menaikkan efisiensi, penelitian sebelumnya cenderung fokus pada pengujian eksperimental dalam bentuk uji suhu atau daya, tanpa integrasi sistem pemantauan secara menyeluruh. Banyak studi tidak mencakup pengumpulan data *real-time* maupun konektivitas jarak jauh, sehingga pengguna tidak dapat memantau kondisi operasional secara langsung dan terus menerus. Selain itu, belum banyak penelitian yang merancang sistem *monitoring* yang mencakup perbandingan antara panel dengan pendingin dan tanpa pendingin dalam satu sistem yang sama.

Penelitian ini menawarkan solusi berbasis sistem *monitoring* yang menghubungkan data tegangan dan suhu dari panel surya *off-grid* baik yang dilengkapi pendingin air maupun yang tidak dalam satu kerangka kerja. Sistem akan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung ke sensor arus dan tegangan menggunakan PZEM-017 dan PZEM-016, sensor suhu permukaan DS18B20, serta sensor lingkungan seperti DHT22 dan pyranometer. Data dibaca secara terjadwal dan dikirim secara *real-time* ke *Google Spreadsheet* melalui koneksi *WiFi*, sehingga memungkinkan pemantauan dari mana saja.

Dengan sistem ini, pemantauan performa panel surya baik yang menggunakan pendingin air maupun yang tidak dapat dilakukan secara *real-time*, tanpa memerlukan pendekatan manual atau pengamatan langsung di lapangan. Integrasi

antara sensor suhu, tegangan, dan kelembapan lingkungan yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 dan dikirim ke *platform cloud* seperti *Google Spreadsheet* menjadikan sistem ini lebih responsif, fleksibel, dan mudah diakses dari berbagai perangkat. Serta kemampuannya dalam membandingkan dua jenis panel surya dalam kondisi yang setara secara langsung, serta memberikan data objektif yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan teknis atau perencanaan sistem energi jangka panjang. Sistem ini juga memungkinkan deteksi dini terhadap penurunan performa panel, baik akibat suhu tinggi maupun gangguan lingkungan lainnya, sehingga dapat dilakukan tindakan korektif lebih cepat. Dengan demikian, sistem *monitoring* ini diharapkan dapat menjadi solusi nyata atas permasalahan turunnya efisiensi energi pada sistem PLTS *off-grid*, sekaligus mendukung keberlanjutan dan efisiensi operasional pemanfaatan energi terbarukan..

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari Proyek Akhir ini, sebagai berikut.

1. Bagaimana merancang sistem *monitoring* panel surya *off-grid* yang mampu mengukur dan membandingkan parameter suhu dan tegangan antara panel surya dengan pendingin air dan tanpa pendingin?
2. Bagaimana membangun sistem *monitoring* tegangan dan suhu pada panel surya *off-grid* yang mampu mengirimkan data parameter penting panel surya secara otomatis ke *Google Spreadsheet* untuk keperluan analisis performa sistem tenaga surya?
3. Seberapa besar pengaruh sistem pendingin berbasis sirkulasi air terhadap efisiensi kinerja panel surya jika dibandingkan dengan panel yang tidak menggunakan sistem pendingin?
4. Bagaimana performa panel surya tanpa pendingin dibandingkan panel dengan pendingin dalam hal kestabilan tegangan dan arus saat beban dinyalakan?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan Proyek Akhir ini, sebagai berikut.

1. Merancang dan membangun sistem monitoring panel surya off-grid yang mampu membaca parameter tegangan dan suhu secara real-time, baik pada panel surya dengan pendingin air maupun tanpa pendingin, untuk mendukung kestabilan energi listrik.
2. Mengintegrasikan berbagai sensor, seperti PZEM-017, PZEM-016, DS18B20, DHT22, dan *pyranometer*, ke dalam satu sistem berbasis

mikrokontroler ESP32 yang mampu mengirimkan data ke *cloud platform Google Spreadsheet* secara otomatis dan berkala.

3. Membandingkan performa antara panel surya yang menggunakan sistem pendingin berbasis sirkulasi air dan panel tanpa pendingin, untuk mengevaluasi efektivitas sistem pendingin terhadap efisiensi konversi daya listrik.
4. Menyediakan sistem pengiriman data otomatis ke *Google Spreadsheet* sebagai media penyimpanan dan analisis performa panel surya secara jarak jauh.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari Proyek Akhir ini, sebagai berikut.

1. Jenis panel surya yang digunakan adalah panel fotovoltaik monokristalin dengan spesifikasi daya tertentu dan dipasang dalam posisi tetap (*fixed angle*), tanpa sistem pelacak matahari (*solar tracker*).
2. Sistem pendingin yang digunakan terbatas pada pendingin berbasis sirkulasi air pasif atau aktif yang diaplikasikan langsung pada permukaan belakang panel surya.
3. Pengukuran kinerja panel surya hanya mencakup parameter dasar yaitu: tegangan (*volt*), arus (*ampere*), daya (*watt*), suhu permukaan panel, intensitas penyinaran matahari, serta suhu dan kelembaban lingkungan sekitar panel.
4. Perangkat *monitoring* yang digunakan adalah ESP32 yang berfungsi untuk pencatatan dan pengiriman data secara *real-time* ke *platform spreadsheet* atau *cloud*. Sistem tidak mencakup sistem kontrol otomatis untuk pengaturan pendingin atau pembangkit.
5. Perbandingan efisiensi panel dilakukan dalam kondisi cuaca alami (*outdoor*), dengan asumsi bahwa posisi dan orientasi panel baik yang menggunakan pendingin maupun tidak, ditempatkan dalam kondisi paparan sinar matahari yang serupa.
6. Penelitian ini tidak membahas aspek ekonomi secara rinci (biaya investasi dan operasional sistem), namun fokus pada perbandingan performa teknis dari kedua sistem (dengan dan tanpa pendingin).

1.5 Cakupan Pengerjaan

Cakupan pengerjaan dalam proyek ini meliputi perancangan, pembangunan, dan pengujian sistem *monitoring* kinerja panel surya yang terintegrasi dengan berbagai sensor untuk memantau parameter listrik, intensitas cahaya, dan kondisi lingkungan. Proses pengerjaan dimulai dari tahap pemilihan serta instalasi perangkat keras yang terdiri dari sensor PZEM-016 untuk pengukuran daya AC, PZEM-017 untuk daya DC, pyranometer RS485 untuk mengukur intensitas radiasi matahari, sensor DHT22 untuk memantau suhu dan kelembapan udara, serta sensor DS18B20 untuk memantau suhu permukaan panel surya. Seluruh sensor dihubungkan ke mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat pengolahan data, dengan komunikasi data menggunakan protokol Modbus RTU melalui konverter RS485. Sistem ini dirancang untuk mengirimkan data pengukuran secara *real-time* ke *Google Spreadsheet* melalui koneksi Wi-Fi, sehingga memudahkan analisis jarak jauh. Pengujian dilakukan dengan fokus pada perbandingan kinerja antara panel surya yang dilengkapi sistem pendingin berbasis sirkulasi air dan panel surya tanpa pendingin, untuk mengevaluasi pengaruh pendinginan terhadap suhu kerja, kestabilan tegangan dan arus, serta efisiensi konversi daya. Dengan cakupan ini, diharapkan sistem mampu memberikan data yang akurat dan *real-time* sebagai dasar analisis kinerja kedua jenis panel dalam kondisi operasional sebenarnya.

1.6 Tahapan Pengerjaan

Tahapan pengerjaan pada Proyek Akhir ini disusun secara sistematis untuk memastikan proses perancangan, pembuatan, hingga pengujian berjalan dengan terarah dan sesuai tujuan penelitian. Setiap tahap memiliki peran penting mulai dari pengumpulan landasan teori, perancangan sistem, implementasi, hingga analisis hasil, sehingga dapat diperoleh gambaran yang jelas mengenai kinerja panel surya dengan dan tanpa sistem pendingin berbasis sirkulasi air. Secara umum, tahapan pengerjaan meliputi langkah-langkah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Tahap awal dimulai dengan melakukan studi literatur untuk memahami teori dan konsep yang berkaitan dengan permasalahan yang ada pada penelitian Proyek Akhir ini, baik berupa buku referensi, artikel, maupun *e-journal* yang berhubungan dengan sistem *monitoring* panel surya.

2. Perancangan Sistem

Setelah memperoleh landasan teori yang memadai, dilakukan perancangan sistem *monitoring* panel surya yang terdiri atas dua unit yaitu panel surya dengan sistem pendingin berbasis sirkulasi air, dan panel surya tanpa pendingin sebagai pembanding. Perancangan mencakup skema rangkaian

perangkat keras, pemilihan komponen seperti sensor suhu, sensor arus dan tegangan, sensor intensitas cahaya, serta modul mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengolahan dan pengiriman data. Sistem pendingin dirancang menggunakan pompa air mini yang mengalirkan air melalui jalur pipa di atas permukaan panel surya untuk menurunkan suhu kerja panel.

3. Pembuatan dan Instalasi Alat

Setelah tahap perancangan selesai, dilakukan perakitan perangkat keras dan instalasi sistem *monitoring* di lapangan. Dua buah panel surya dipasang secara berdampingan di lokasi terbuka dengan paparan sinar matahari langsung. Panel pertama dilengkapi dengan sistem pendingin air aktif, sedangkan panel kedua berfungsi tanpa sistem pendingin untuk kepentingan perbandingan. Semua sensor dipasang sesuai dengan titik ukur yang ditentukan dan dihubungkan ke mikrokontroler ESP32.

4. Pengumpulan Data

Selama proses pengujian, data dikumpulkan dari masing-masing panel surya untuk beberapa parameter, yaitu tegangan *output*, arus, daya listrik yang dihasilkan, suhu permukaan panel, suhu dan kelembaban udara di sekitar panel, serta intensitas cahaya matahari. Pengambilan data dilakukan secara berkala dalam rentang waktu tertentu, baik pada pagi, siang, maupun sore hari untuk mendapatkan gambaran menyeluruh tentang performa panel dalam berbagai kondisi lingkungan..

5. Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis dengan membandingkan hasil kinerja panel surya dengan dan tanpa pendingin. Analisis fokus pada pengaruh suhu terhadap efisiensi konversi energi dan stabilitas daya *output*. Hasil data direkapitulasi dalam bentuk nilai yang ditampilkan pada *spreadsheet*.

6. Evaluasi dan Kesimpulan

Tahap terakhir adalah melakukan evaluasi terhadap keseluruhan sistem yang telah dikembangkan. Evaluasi ini mencakup kinerja perangkat keras, keakuratan data *monitoring*, efektivitas pendinginan panel surya, serta kemudahan akses data melalui *platform* digital. Berdasarkan hasil evaluasi, kemudian ditarik kesimpulan tentang keberhasilan sistem dalam meningkatkan efisiensi pembangkitan listrik, serta relevansinya terhadap penerapan pada berbagai kebutuhan energi listrik..