

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan kebutuhan energi listrik yang terus meningkat mendorong pemanfaatan energi terbarukan sebagai solusi alternatif yang berkelanjutan. Salah satu sumber energi terbarukan yang paling berkembang adalah energi surya melalui sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi energi surya yang tinggi dengan rata-rata intensitas radiasi matahari sekitar 4–5 kWh/m² per hari, sehingga sangat potensial untuk pengembangan PLTS skala kecil maupun skala menengah [1]. PLTS skala kecil banyak digunakan pada rumah tangga, sistem *backup* daya, serta instalasi off-grid di daerah terpencil karena instalasinya relatif sederhana dan tidak memerlukan infrastruktur jaringan listrik yang kompleks [2].

Dalam sistem PLTS, baterai berperan sebagai komponen penyimpanan energi yang sangat penting untuk menjaga kontinuitas suplai listrik ketika panel surya tidak menghasilkan energi, seperti pada malam hari atau saat cuaca mendung. Namun, baterai juga merupakan komponen yang paling rentan mengalami penurunan performa dibandingkan komponen lainnya. Penurunan performa baterai dapat disebabkan oleh siklus pengisian dan pengosongan (*charge-discharge cycle*), suhu operasional yang tinggi, serta kondisi *overcharge* dan *overdischarge* yang tidak terkontrol [3]. Penelitian Waag et al. menyatakan bahwa variasi temperatur dan pola operasi sangat berpengaruh terhadap karakteristik degradasi baterai [4]. Hal ini menunjukkan bahwa pemantauan parameter operasional baterai menjadi aspek penting dalam menjaga keandalan sistem PLTS.

Pada praktiknya, sistem PLTS skala kecil umumnya belum dilengkapi dengan sistem *monitoring* baterai yang terintegrasi. Banyak pengguna hanya memantau tegangan baterai secara manual menggunakan multimeter tanpa mengetahui arus pengisian, arus beban, maupun suhu kerja baterai. Pemantauan multi-parameter seperti tegangan, arus, dan suhu dapat memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai kondisi operasional baterai dibandingkan hanya pengukuran tegangan saja [5]. Keterbatasan sistem *monitoring* ini

menyebabkan tidak tersedianya data historis yang dapat digunakan untuk mengevaluasi performa baterai secara berkala.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) membuka peluang dalam pengembangan sistem *monitoring* yang mampu mengirimkan data secara *real-time* ke *dashboard* daring. Penelitian Asqolani et al. di Institut Teknologi PLN memanfaatkan ESP32, sensor ACS712, dan *web dashboard* untuk memantau tegangan, arus, serta kapasitas baterai pada sistem PLTS dengan akurasi pengukuran di atas 96%, sehingga menunjukkan bahwa sistem *monitoring* berbasis IoT layak diterapkan pada PLTS [6]. IoT memungkinkan integrasi sensor dengan mikrokontroler yang memiliki konektivitas internet sehingga data dapat dipantau dari jarak jauh [7]. Salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan adalah ESP32 karena memiliki modul WiFi terintegrasi, konsumsi daya rendah, dan kemampuan pemrosesan yang memadai untuk aplikasi *monitoring* [8]. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian di Indonesia masih berfokus pada pemantauan parameter listrik seperti tegangan dan daya, sehingga analisis kinerja sistem secara menyeluruh masih perlu dikembangkan [9]

Selain itu, penelitian yang dipublikasikan dalam Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi) menunjukkan bahwa implementasi *dashboard* IoT mampu meningkatkan kemudahan pemantauan sistem energi secara *real-time* dan menyimpan data dalam bentuk histori untuk analisis lebih lanjut. Namun demikian, penelitian yang secara khusus mengintegrasikan sensor tegangan, arus, dan suhu pada sistem PLTS skala kecil serta melakukan pengujian akurasi sensor dan evaluasi kinerja sistem secara komprehensif masih terbatas.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan perancangan dan pengujian sistem *monitoring* baterai berbasis IoT yang berfokus pada aspek perancangan *hardware*, integrasi sensor, pengujian akurasi pembacaan, serta implementasi *dashboard* untuk menampilkan dan menyimpan data historis parameter baterai. Penelitian ini tidak menitikberatkan pada pengembangan model matematis kompleks atau estimasi *State of Health* (SoH) tingkat lanjut, melainkan pada realisasi sistem *monitoring* yang stabil, akurat, dan aplikatif untuk PLTS skala kecil.

Dengan adanya sistem *monitoring* berbasis IoT ini, diharapkan pengguna PLTS skala

kecil dapat memperoleh data operasional baterai secara *real-time*, melakukan evaluasi performa berdasarkan data historis, serta meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi pengembangan sistem *monitoring* energi berbasis IoT yang sederhana, ekonomis, dan mudah direalisasikan pada skala penelitian mahasiswa.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian yang berjudul “Rancang Bangun dan Analisis Kinerja Sistem *Predictive Battery Health Monitoring* Berbasis IoT Menggunakan ESP32 Pada Sistem PLTS Skala Kecil” adalah:

1. Bagaimana tingkat akurasi sensor tegangan (*DC Voltage Sensor*), sensor arus (*ACS712*), dan sensor suhu (*DHT11*) jika dibandingkan dengan alat ukur konvensional?
2. Bagaimana kinerja komunikasi data IoT (*ESP32*, *Firebase*) dalam hal waktu respon, stabilitas koneksi, dan kontinuitas data?
3. Bagaimana performa sistem *monitoring* selama proses *charging* dan *discharging* baterai dalam kondisi operasional nyata?
4. Bagaimana nilai analisis *State of Charge* (*SoC*) dan *State of Health* (*SoH*) baterai?

1.3 Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai oleh penulis berdasarkan latar belakang serta rumusan masalah yang telah disusun adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan merealisasikan sistem *monitoring* baterai berbasis IoT menggunakan *ESP32*.
2. Mengintegrasikan sensor tegangan, arus, dan suhu dalam satu sistem *monitoring*.
3. Menguji akurasi pembacaan sensor terhadap alat ukur standar.
4. Mengimplementasikan *dashboard* IoT untuk menampilkan data secara *real-time*.
5. Melakukan pengumpulan data operasional baterai sebagai bahan evaluasi performa sistem.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat menghasilkan prototipe sistem *monitoring* baterai berbasis IoT pada PLTS skala kecil.
2. Dapat menyediakan data *real-time* tegangan, arus, dan suhu baterai melalui *dashboard online*.
3. Dapat memberikan informasi performa baterai berdasarkan data hasil pengukuran.
4. Dapat membantu pengguna dalam memantau kondisi baterai secara jarak jauh.
5. Dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan *monitoring* energi berbasis IoT dan sistem PLTS skala kecil.

1.5 Ruang Lingkup Masalah

Untuk membatasi fokus penelitian yang dilakukan, diberikan ruang lingkup masalah agar tidak keluar dari fokus penelitian. Adapun ruang lingkup masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem yang dirancang bersifat *prototype* dan digunakan untuk skala kecil
2. Parameter yang dimonitor dibatasi pada tegangan baterai, arus *charge-discharge*, dan suhu baterai.
3. Penelitian tidak membahas analisis kimia internal baterai maupun estimasi *State of Charge* dan *State Of Health* secara kompleks.
4. Sistem komunikasi menggunakan Wi-Fi bawaan ESP32 dan tidak membahas protokol komunikasi lain.
5. Pengujian dilakukan dalam periode waktu tertentu sesuai durasi penelitian.
6. Faktor gangguan eksternal seperti kerusakan jaringan internet dan cuaca ekstrem tidak dianalisis secara mendalam.

1.6 Kebaruan

Penelitian ini menghadirkan integrasi sistem *monitoring* baterai berbasis IoT menggunakan ESP32 yang dirancang khusus untuk aplikasi PLTS skala kecil dengan pendekatan sederhana dan aplikatif. Kebaruan penelitian ini terletak pada perancangan

sistem *monitoring* yang menggabungkan sensor tegangan, arus, dan suhu dalam satu sistem terpadu yang mampu mengirimkan data secara *real-time* ke *dashboard online*.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang lebih banyak berfokus pada sistem manajemen baterai skala besar atau analisis model matematis kompleks, penelitian ini menitikberatkan pada aspek perancangan *hardware*, pengujian sensor, kestabilan komunikasi IoT, serta pengumpulan data operasional sebagai dasar evaluasi performa sistem. Dengan pendekatan tersebut, sistem yang dikembangkan lebih sesuai untuk kebutuhan PLTS skala kecil dan dapat direalisasikan dengan biaya yang relatif rendah serta mudah direplikasi.