

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan energi radiasi matahari sebagai sumber energi utama. Energi cahaya matahari dikonversi menjadi energi listrik menggunakan modul fotovoltaik (photovoltaic), kemudian energi listrik yang dihasilkan dapat digunakan secara langsung, disimpan dalam baterai, maupun disalurkan ke jaringan listrik melalui inverter. PLTS memiliki berbagai keunggulan, antara lain ramah lingkungan, tidak menghasilkan emisi selama proses pembangkitan, biaya operasional yang relatif rendah, serta memanfaatkan sumber energi yang tersedia melimpah di Indonesia. Pemerintah Indonesia juga menjadikan PLTS sebagai salah satu teknologi prioritas dalam pengembangan EBT. Berdasarkan data Kementerian ESDM, selama Semester I Tahun 2025 telah terjadi penambahan kapasitas pembangkit EBT sebesar 876,5 MW, yang di antaranya berasal dari pembangunan PLTS sebesar 233,3 MW yang tersebar di berbagai wilayah Indonesia. Penambahan tersebut menunjukkan komitmen pemerintah dalam mempercepat pemanfaatan energi surya sebagai bagian dari upaya mencapai target bauran energi nasional[1].

Pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia meningkat secara pesat seiring tingginya kebutuhan terhadap sumber energi listrik yang ramah terhadap lingkungan, salah satunya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Karakteristik energi surya yang bersifat *intermittent* (ketergantungan cuaca) memerlukan sistem penyimpanan energi. Pada saat ini, teknologi baterai berbasis Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) mulai menggantikan teknologi baterai asam timbal (*Lead-Acid*) yang konvensional karena mempunyai kerapatan energi yang tinggi serta siklus hidup (*LifeCycle*) yang jauh lebih panjang hingga pada ribuan kali pengisian dapat dilakukan. Meskipun mempunyai efisiensi yang tinggi, pengoperasian sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berskala kecil tetap membutuhkan sistem pemantauan yang ketat untuk memastikan pada saat pengisian (*charging*) dan saat pengosongan (*discharging*) baterai dapat berjalan dengan optimal. [2]

Kelemahan mendasar yang dimiliki baterai Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) adalah tingkat sensitivitasnya yang tinggi pada kondisi operasional yang ekstrem. Serta fluktuasi suhu luar dapat menyebabkan penurunan kapasitas (*Capacity Fade*) hingga menimbulkan kerusakan pada fisik baterai. Diperlukan perancangan sistem *Monitoring* yang dapat membaca parameter listrik seperti tegangan, arus, daya dan temperatur pada baterai secara *real-time*. Penggunaan mikrokontroler ESP 32 yang diintegrasikan dengan sensor arus dan tegangan presisi tinggi INA219 serta sensor suhu digital DS18B20 terbukti mampu memetakan kondisi pada baterai secara akurat saat proses pengisian (*charging*) maupun pengosongan (*discharging*) pada baterai saat berlangsung. [3]

Tantangan berikutnya berupa tata letak geografis, yang dimana PLTS sering kali ditempatkan di lokasi terpencil yang jauh dari jangkauan internet Wi-Fi lokal ataupun seluler. Pengaplikasian teknologi *Internet of Things* (IoT) konvensional pada kondisi ini dinilai kurang efektif karena keterbatasan pada jarak pancar dan tingginya konsumsi daya. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penggunaan teknologi sistem komunikasi nirkabel *Long Range* (LoRa) menjadi solusi yang ideal. *LoRa* dirancang untuk mengirim data *Monitoring* tegangan dan arus dalam skala jarak jauh dengan konsumsi energi yang hemat. Sehingga ideal untuk sistem pemantauan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). [4]

Penelitian ini bermaksud merancang dan membangun sistem *Monitoring* baterai lithium ion jenis Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang menggabungkan pengukuran parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, dan daya menggunakan sensor INA219 dan sensor suhu DS18B20, dengan transmisi data antar modul untuk mengirim data *Monitoring* menggunakan komunikasi LoRa untuk mengatasi keterbatasan jangkauan WiFi, serta penyimpanan data hasil *Monitoring* secara otomatis pada *Google Spreadsheet* dan dapat berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP 32 dan ditampilkan secara langsung melalui LCD.

Pengembangan alat ini juga bertujuan untuk meningkatkan efisiensi proses pemantauan. Sistem yang dirancang memungkinkan pengguna memonitor kondisi baterai secara *real-time* tanpa harus berada di lokasi. Data dapat diakses dari mana

saja dan kapan saja melalui jaringan komunikasi yang terintegrasi, sehingga proses pemantauan menjadi lebih praktis dan efektif

Berdasarkan latar belakang tersebut, penyusun menyusun tugas akhir berjudul “Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Baterai Lithium-Ion pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Berbasis *Internet of Things* (IoT) Menggunakan Komunikasi *LoRa*”. Penelitian ini difokuskan pada perancangan dan implementasi sistem *Monitoring* berbasis IoT yang mampu mendukung pemantauan kondisi baterai PLTS secara jarak jauh dan *real-time*.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membangun sistem *monitoring* baterai Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan sensor INA219 dan DS18B20 untuk memantau tegangan, arus, daya, *State of Charge*, *State of Health* serta suhu pada baterai secara *real-time*?
2. Bagaimana mengimplementasikan komunikasi data nirkabel jarak jauh menggunakan modul LoRa SX1278 Ra-02 pada frekuensi 433 MHz sebagai media transmisi data monitoring dari unit transmitter di lokasi PLTS ke unit receiver di tempat pemantauan, serta menampilkan hasil monitoring secara *real-time* melalui LCD, menyimpannya secara otomatis ke Google Spreadsheet, dan memantaunya melalui platform Blynk IoT beserta fitur notifikasi push otomatis ketika SoC baterai mencapai batas kritis?
3. Bagaimana mengevaluasi kompatibilitas Solar Charge Controller (SCC) PowMr MPPT 20A terhadap baterai LiFePO₄ berdasarkan profil pengisian (*charging*) dan pengosongan (*discharging*) yang terpantau oleh sistem, serta nilai SoC dan SoH baterai pada setiap hari pengujian?

1.3 Tujuan Tugas Akhir

Berdasarkan perumusan masalah yang telah ditetapkan, tujuan khusus dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun sistem *monitoring* baterai Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu mengukur parameter tegangan, arus, daya, *State of Charge*, *State of Health* serta suhu secara *real-time* menggunakan sensor INA219 dan sensor DS18B20.
2. Mengimplementasikan komunikasi data nirkabel jarak jauh menggunakan modul LoRa SX1278 Ra-02 pada frekuensi 433 MHz sebagai media transmisi data *monitoring* dari unit transmitter di lokasi PLTS ke unit receiver di tempat pemantauan, serta menampilkan hasil *monitoring* secara *real-time* melalui LCD, menyimpannya secara otomatis ke Google Spreadsheet, dan memantaunya melalui platform Blynk IoT beserta fitur notifikasi push otomatis ketika SoC baterai mencapai batas kritis.
3. Mengevaluasi kompatibilitas Solar Charge Controller (SCC) PowMr MPPT 20A terhadap baterai LiFePO₄ berdasarkan profil pengisian (*charging*) dan pengosongan (*discharging*) yang terpantau oleh sistem, serta nilai SoC dan SoH baterai pada setiap hari pengujian.

1.4 Manfaat Tugas Akhir

1.4.1 Bagi Penyusun

1. Meningkatkan keterampilan teknis dalam perancangan dan implementasi sistem *monitoring* berbasis IoT yang mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 dengan sensor INA219 dan sensor DS18B20.
2. Memperoleh pengalaman dalam mengimplementasikan sistem komunikasi nirkabel jarak jauh menggunakan modul LoRa SX1278 Ra-02 sebagai media transmisi data *monitoring* antara unit *transmitter* dan unit *receiver*.
3. Memperoleh pemahaman mendalam mengenai karakteristik pengisian dan pengosongan baterai LiFePO₄ SCC MPPT terhadap baterai LiFePO₄.

1.4.2 Bagi Mahasiswa dan Pembaca

1. Memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai sistem *monitoring* baterai Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berbasis IoT menggunakan komunikasi LoRa.

2. Mengetahui penerapan teknologi sensor dan mikrokontroler dalam melakukan pengukuran parameter kelistrikan baterai meliputi, Tegangan, arus, daya, *State of Health (SoH)* dan *State of Charge (SoC)* serta suhu, yang diolah dan ditampilkan secara otomatis dan *real-time* melalui sistem *monitoring* berbasis IoT menggunakan komunikasi LoRa dan *Google Spreadsheet*.
3. Menjadi referensi bagi mahasiswa Program Studi Teknik Listrik Industri dalam penyusunan Tugas Akhir dengan topik sistem *Monitoring* baterai pada PLTS.

1.5 Pembatasan Masalah

Agar dalam penyusunan Tugas Akhir tersebut, penyusun perlu menentukan batasan-batasan yang akan dijadikan pedoman dalam pengembangan dan implementasi sistem agar lebih terarah dan fokus. Adapun batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Objek Penelitian
Objek penelitian yang digunakan adalah baterai Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) 12,8V 12Ah konfigurasi 4S2P, berfungsi sebagai media penyimpanan energi pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).
2. Sensor Pengukuran
Pengukuran tegangan dan arus baterai dilakukan menggunakan sensor INA219 dengan resistor shunt 0,1 Ω , sedangkan pengukuran suhu baterai menggunakan sensor DS18B20 berbasis komunikasi 1-Wire.
3. Mikrokontroller
Sistem *monitoring* dikendalikan menggunakan dua unit ESP32, yaitu unit *transmitter* yang bertugas membaca data sensor dan mengirimkan data, serta unit *receiver* yang bertugas menerima data, menampilkan pada LCD, dan mengirimkan ke *Blynk* dan *Google Spreadsheet*.
4. Komunikasi Data
Transmisi data *monitoring* antara unit *transmitter* dan unit *receiver* dilakukan secara nirkabel menggunakan modul LoRa SX1278 Ra-02. Data hasil *monitoring* ditampilkan secara langsung melalui LCD I2C 16x2 tanpa

memerlukan koneksi internet, sedangkan penyimpanan data ke *Google Spreadsheet* dan *Blynk* memerlukan koneksi WiFi pada unit *receiver*.

5. *Solar Charge Controller (SCC)*

Pengujian dilakukan menggunakan satu jenis SCC, yaitu SCC PowMr MPPT 20A dengan mode pengisian LiFePO4. Pengujian SCC PowMr MPPT 20A selama 2 hari.

6. *Parameter Monitoring*

Parameter analisis yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *Battery Voltage* (V), *Load Voltage* (V), arus (mA), daya (mW), suhu (°C), *State of Charge/SoC* (%), *State of Health (SoH)* RSSI sinyal LoRa (dBm). Parameter tersebut dianalisis berdasarkan kondisi pengisian (charging) dan pengosongan (discharging) baterai selama 2 hari.

7. *Output Sistem*

Hasil *monitoring* ditampilkan secara langsung melalui LCD I2C 16x2 pada unit *receiver* serta ditampilkan pada *Dashboard Blynk* dan disimpan secara otomatis ke *Google Spreadsheet* dengan interval pengiriman data setiap 5 menit selama pengujian berlangsung.

8. *Ruang Lingkup Pengukuran*

Pengukuran dilakukan secara langsung pada terminal baterai LiFePO4 yang terhubung dengan sistem PLTS untuk memantau kondisi pengisian (charging) dan pengosongan (discharging) baterai. Sistem tidak melakukan pengendalian proses pengisian maupun pengosongan baterai, tidak mengukur parameter panel surya secara langsung, dan tidak menganalisis kualitas daya jaringan listrik.

9. *Beban Pengujian*

Sistem menggunakan lampu LED DC 12V/20W sebagai beban tetap selama proses pengujian berlangsung. Berdasarkan hasil pengukuran aktual, daya yang dikonsumsi beban adalah sekitar 8,3W dengan arus rata-rata berkisar 600–700 mA pada kondisi discharging

1.6 Sistematika Penyusunan Tugas Akhir

Sistematika penyusunan tugas akhir ini disusun untuk memberikan gambaran umum mengenai tahapan kegiatan yang dilakukan dalam perancangan dan pengembangan sistem. Adapun sistematika penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

HALAMAN JUDUL

HALAMAN PENGESAHAN

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

BERITA ACARA UJIAN TUGAS AKHIR

HALAMAN PERSEMBAHAN

ABSTRAK

ABSTARCT

KATA PENGANTAR

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR LAMPIRAN

BAB I: PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang penelitian mengenai pentingnya *monitoring* efisiensi konversi panel surya, rumusan masalah, tujuan tugas akhir, manfaat tugas akhir, batasan masalah, dan sistematika penyusunan.

BAB II: LANDASAN TEORI

Bab ini membahas tinjauan pustaka dan teori-teori yang mendukung perancangan sistem monitoring baterai Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berbasis IoT menggunakan komunikasi LoRa. Pembahasan meliputi konsep dasar Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), baterai Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄), Solar Charge Controller (SCC) jenis PWM dan MPPT, konsep State of Charge (SoC) baterai, prinsip kerja sensor INA219 dan DS18B20, mikrokontroler ESP32, modul komunikasi LoRa SX1278 Ra-02, LCD I2C 16x2, serta penyimpanan data berbasis IoT menggunakan Google Spreadsheet

BAB III: PERANCANGAN TUGAS AKHIR

Bab ini menjelaskan metode penelitian dan perancangan sistem monitoring baterai Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berbasis IoT menggunakan komunikasi LoRa yang digunakan. Perancangan meliputi pembuatan diagram blok sistem sebagai gambaran alur kerja keseluruhan sistem pada unit transmitter dan unit receiver, perancangan rangkaian perangkat keras berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan sensor INA219, sensor DS18B20, dan modul LoRa SX1278 Ra-02, serta desain 3D. Selain itu, dijelaskan juga perancangan perangkat lunak berupa flowchart sesi transmitter dan sesi receiver.

BAB IV: PEMBUATAN ALAT

Bab ini membahas proses pembuatan dan implementasi sistem sesuai dengan hasil perancangan yang telah dilakukan. Implementasi meliputi perakitan perangkat keras dan perangkat lunak.

BAB V: PENGUJIAN DAN ANALISIS ALAT

Bab ini berisis hasil pengujian dan analisis sistem monitoring baterai Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berbasis IoT menggunakan komunikasi LoRa yang telah dirancang dan dibangun. Pengujian dilakukan selama dua hari menggunakan SCC PowMr MPPT 20A, untuk mengetahui kinerja sistem dalam membaca parameter kelistrikan baterai, mentransmisikan data secara nirkabel menggunakan modul LoRa SX1278 Ra-02, serta menyimpannya secara otomatis ke Google Spreadsheet. Data hasil pengujian dianalisis meliputi profil pengisian (charging) dan pengosongan (discharging) baterai, nilai State of Charge (SoC) akhir, kompatibilitas SCC terhadap baterai LiFePO₄, jangkauan komunikasi LoRa, serta tingkat keberhasilan pengiriman data ke Google Spreadsheet

BAB VI: PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil perancangan dan pengujian sistem, serta saran untuk pengembangan sistem di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN