

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling potensial dan terus berkembang pesat di Indonesia. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) telah menjadi pilihan strategis dalam upaya diversifikasi energi nasional, baik pada skala rumah tangga, komersial, maupun industri. Menurut data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM), kapasitas terpasang pembangkit energi baru dan terbarukan di Indonesia terus meningkat setiap tahunnya. Hingga semester I tahun 2025, total kapasitas terpasang pembangkit EBT telah mencapai 15,2 GW dengan penambahan sebesar 4,4 GW dalam satu semester, di mana PLTS menyumbang penambahan sebesar 233,3 MW yang tersebar di seluruh Indonesia [1]. Seiring pertumbuhan tersebut, kebutuhan akan sistem pemantauan performa panel surya yang andal menjadi semakin krusial untuk memastikan panel beroperasi secara optimal dan efisien [1].

Panel surya menghasilkan energi listrik melalui proses konversi radiasi matahari menggunakan efek fotovoltaiik. Namun dalam praktiknya, efisiensi konversi panel surya tidak selalu konstan. Berbagai faktor dapat menyebabkan penurunan performa dari waktu ke waktu, seperti akumulasi kotoran dan debu pada permukaan panel, peningkatan suhu panel akibat paparan sinar matahari yang berkepanjangan, adanya bayangan parsial dari objek sekitar, serta degradasi material sel surya seiring bertambahnya usia penggunaan. Penurunan ini seringkali terjadi secara perlahan dan tidak terdeteksi, sehingga kerugian energi terus berlangsung tanpa adanya tindakan perbaikan yang tepat waktu.

Kondisi serupa terjadi pada sistem PLTS di Teknik Listrik Industri (TLI). Panel surya yang tersedia belum pernah diketahui seberapa efektif proses konversinya dari radiasi matahari menjadi energi listrik [2][3], dan belum ada sistem yang memantau nilai efisiensi secara real-time sehingga penurunan performa tidak dapat dideteksi secara dini [1].

Berdasarkan kajian terhadap penelitian-penelitian sebelumnya, sebagian besar sistem monitoring panel surya berbasis Internet of Things (IoT) yang telah dikembangkan hanya berfokus pada penampilan data kelistrikan seperti tegangan, arus, dan daya secara real-time, tanpa melakukan analisis efisiensi konversi radiasi matahari menjadi energi listrik [2][3][4]. Penelitian yang membahas efisiensi umumnya masih menggunakan alat ukur manual dan tidak berbasis IoT, sehingga pemantauan tidak dapat dilakukan secara

berkelanjutan. Selain itu, beberapa penelitian masih melibatkan komponen tambahan seperti Solar Charge Controller (SCC) dan baterai dalam rantai pengukuran, sehingga data yang diperoleh tidak merepresentasikan kondisi murni panel surya karena telah dipengaruhi oleh rugi daya dari komponen lain [6][7]. Tidak ada pula sistem yang dilengkapi dengan notifikasi otomatis sebagai peringatan dini serta penyimpanan data historis untuk analisis tren kinerja jangka panjang [2][3][4][5].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan rancang bangun sistem monitoring kinerja panel surya berbasis IoT menggunakan sensor BH1750 sebagai pengukur intensitas radiasi matahari dan sensor INA219 sebagai pengukur tegangan serta arus output panel, dengan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan utama [15]. Sistem mengukur kedua parameter tersebut secara bersamaan dan real-time, kemudian langsung menghitung nilai efisiensi konversi radiasi matahari menjadi daya listrik. Pengukuran dilakukan murni pada output panel surya tanpa melibatkan komponen sistem lain agar data yang diperoleh benar-benar mencerminkan kondisi aktual panel [9]. Data hasil pengukuran ditampilkan melalui LCD, dikirim sebagai notifikasi otomatis ke Telegram apabila efisiensi turun melewati batas yang ditentukan, dan disimpan secara historis di Google Spreadsheet untuk keperluan analisis tren jangka panjang [18].

Topik ini belum pernah diangkat sebagai Tugas Akhir di TLI sebelumnya, sehingga penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi pertama, bahan modul pembelajaran, serta membuka peluang pengembangan lebih lanjut bagi penelitian berikutnya, seperti integrasi dengan sistem pembersih panel surya otomatis berbasis kondisi performa panel [2].

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 kinerja panel surya berbasis IoT menggunakan sensor BH1750 dan INA219 untuk memantau intensitas radiasi matahari, tegangan, arus, dan daya keluaran panel surya secara real-time?
2. Bagaimana mengimplementasikan perhitungan efisiensi panel surya berdasarkan perbandingan antara energi radiasi matahari yang diterima dengan daya listrik yang dihasilkan, serta menampilkan hasil monitoring secara real-time melalui LCD, Telegram, dan Google Spreadsheet?

3. Bagaimana merancang sistem yang dapat mendeteksi penurunan performa panel surya secara otomatis dan memberikan notifikasi kepada pengguna ketika penurunan tersebut terdeteksi?
4. Bagaimana kinerja sistem monitoring yang telah dibangun dalam mengukur parameter kelistrikan panel surya, menghitung efisiensi konversi, dan mendeteksi penurunan performa secara otomatis pada kondisi operasi nyata?

1.3 Tujuan Tugas Akhir

Dari rumusan masalah yang telah ditetapkan, tujuan dari pembuatan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun sistem monitoring kinerja panel surya berbasis IoT menggunakan sensor BH1750 dan INA219 untuk memantau intensitas radiasi matahari, tegangan, arus, dan daya keluaran panel surya secara real-time.
2. Mengimplementasikan perhitungan efisiensi panel surya berdasarkan energi radiasi matahari yang diterima dan daya listrik yang dihasilkan, serta menampilkan hasilnya melalui LCD, Telegram, dan Google Spreadsheet.
3. Merancang sistem notifikasi otomatis yang dapat memberikan peringatan dini kepada pengguna ketika terdeteksi penurunan performa panel surya berdasarkan data hasil monitoring.
4. Melakukan pengujian dan evaluasi terhadap sistem yang dibangun untuk mengetahui akurasi pembacaan sensor, kebenaran hasil perhitungan efisiensi, dan kemampuan sistem dalam mendeteksi penurunan performa panel surya pada kondisi operasi nyata di PLTS yang diteliti.

1.4 Manfaat Tugas Akhir

Berdasarkan tujuan yang telah ditetapkan, penelitian ini juga memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi Pengguna dan Pengelola Sistem Panel Surya
 Penelitian ini dapat membantu memantau kondisi dan kinerja panel surya secara *real-time*. Sistem yang dirancang mampu mendeteksi penurunan performa panel lebih awal, sehingga proses pemeriksaan dan perawatan dapat dilakukan lebih cepat sebelum terjadi penurunan kinerja yang lebih besar.
2. Bagi Mahasiswa dan Akademisi
 Penelitian ini dapat menjadi referensi dalam perancangan sistem monitoring panel

surya berbasis Internet of Things (IoT) yang terintegrasi dengan perhitungan efisiensi, penyimpanan data historis, dan notifikasi otomatis. Selain itu, penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan kajian untuk pengembangan penelitian di bidang energi terbarukan.

3. Bagi Perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi

Penelitian ini berkontribusi dalam pengembangan sistem monitoring panel surya berbasis IoT yang terintegrasi. Sistem yang dibangun menggabungkan pemantauan parameter panel surya, perhitungan efisiensi, notifikasi otomatis, dan penyimpanan data dalam satu sistem yang mudah digunakan.

1.5 Pembatasan Masalah

Dalam penyusunan Tugas Akhir tersebut, penulis 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 panel surya *polycrystalline* merek Inscom model KMP-2750 dengan daya maksimum 50 Wp, tegangan daya maksimum (V_{mp}) 19,12V, dan arus daya maksimum (I_{mp}) 2,45A, yang berfungsi sebagai sumber energi utama pada sistem monitoring.

2. Sensor Pengukuran

Pengukuran intensitas cahaya matahari dilakukan menggunakan sensor BH1750, sedangkan pengukuran tegangan dan arus keluaran panel surya menggunakan sensor INA219.

3. Mikrokontroler

Sistem monitoring dikendalikan menggunakan ESP32 sebagai unit pemrosesan utama untuk membaca data sensor, mengolah data, dan mengirimkan hasil monitoring.

4. Ruang Lingkup Pengukuran

Pengukuran dilakukan secara langsung pada keluaran panel surya untuk memantau kinerja panel. Sistem tidak melibatkan komponen lain seperti solar charge controller, baterai, inverter, atau komponen PLTS lainnya, sehingga data yang diperoleh merepresentasikan kondisi panel surya secara langsung.

5. Output Sistem

Hasil monitoring ditampilkan melalui LCD, dikirim melalui Telegram, dan disimpan

pada Google Spreadsheet sebagai data historis. Sistem juga dilengkapi notifikasi otomatis untuk mendeteksi adanya penurunan performa panel surya berdasarkan parameter hasil monitoring.

6. Parameter Analisis

Parameter seperti efisiensi harian, efisiensi bulanan, dan analisis performa panel diperoleh dari pengolahan data historis hasil monitoring yang tersimpan pada Google Spreadsheet.

7. Beban Pengujian (Dummy Load)

Sistem menggunakan resistor kapur 10Ω 15 Watt sebagai beban tetap (dummy load) agar arus panel surya dapat mengalir dan diukur secara stabil. Daya keluaran panel surya (Pout) dihitung menggunakan tegangan tetap sebesar 19,12V (V_{mp}) sesuai spesifikasi nameplate panel, dengan penjelasan lebih lanjut mengenai alasan penggunaannya dibahas pada Bab III.

1.6 Sistematika Penulisan Tugas Akhir

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut::

HALAMAN JUDUL

HALAMAN PENGESAHAN

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

BERITA ACARA UJIAN TUGAS AKHIR

HALAMAN PERSEMBAHAN

ABSTRAK

ABSTRACT

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 penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini menyajikan kajian terhadap penelitian-penelitian terdahulu serta memaparkan dasar teori komponen teknis yang digunakan, meliputi panel surya, efisiensi konversi, sensor BH1750, sensor INA219, mikrokontroler ESP32, IoT, Telegram Bot API, Google Spreadsheet, dan LCD.

BAB III PERANCANGAN TUGAS AKHIR

Bab ini menjelaskan metode penelitian dan perancangan sistem yang digunakan. Perancangan meliputi pembuatan diagram blok sebagai gambaran alur kerja sistem, perancangan rangkaian perangkat keras berbasis ESP32, serta desain 3D. Selain itu, dijelaskan juga perancangan perangkat lunak berupa *flowchart* dan prinsip kerja sistem untuk proses pembacaan sensor, pengolahan data, hingga pengiriman data ke platform IoT.

BAB IV PEMBUATAN ALAT

Bab ini menjelaskan proses pembuatan dan perakitan alat. Kegiatan meliputi pemasangan komponen perangkat keras, pengkabelan rangkaian, serta pembuatan program pada ESP32. Selain itu, dilakukan integrasi sistem agar alat dapat menampilkan data, mengirim notifikasi, dan menyimpan data secara online.

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISA ALAT

Bab ini berisi hasil pengujian sistem yang telah dibuat. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja alat dalam membaca data sensor, menghitung efisiensi panel surya, serta mengirim dan menampilkan data secara real-time. Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui tingkat akurasi dan kinerja sistem.

BAB VI PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil perancangan dan pengujian alat, serta saran pengembangan sistem untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN