

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik yang terus meningkat seiring perkembangan teknologi dan aktivitas masyarakat menuntut ketersediaan sumber energi yang andal dan berkelanjutan. Ketergantungan terhadap energi fosil masih menjadi permasalahan utama karena berdampak pada krisis energi dan peningkatan emisi karbon. Oleh sebab itu, pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) menjadi solusi strategis dalam mendukung ketahanan energi nasional sekaligus mengurangi dampak lingkungan. Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar di Indonesia adalah energi surya, mengingat letak geografis Indonesia yang berada di wilayah khatulistiwa dengan intensitas radiasi matahari yang tinggi.

Pemanfaatan energi surya umumnya dilakukan melalui sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang mengubah energi cahaya menjadi energi listrik menggunakan sel fotovoltaik. Namun demikian, efisiensi konversi panel surya masih memiliki keterbatasan karena sebagian besar energi matahari tidak dikonversi menjadi listrik, melainkan terbuang dalam bentuk panas pada permukaan panel. Panas buangan tersebut justru dapat menurunkan efisiensi kerja panel surya karena peningkatan temperatur modul akan menurunkan performa konversi energi listrik yang dihasilkan.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dikembangkan sistem pembangkit hybrid *Photovoltaic–Thermoelectric Generator* (PV–TEG) yang mengombinasikan panel surya dengan modul termoelektrik (Peltier). Sistem ini bekerja dengan memanfaatkan panas buangan dari panel surya untuk dikonversi kembali menjadi energi listrik tambahan melalui efek *Seebeck* pada modul termoelektrik. Integrasi PV–TEG terbukti mampu meningkatkan pemanfaatan energi total sistem, meskipun kontribusi daya dari modul termoelektrik masih relatif kecil dibandingkan panel surya.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem hybrid PV–TEG dapat dirancang dalam bentuk portable untuk mendukung kebutuhan energi skala kecil, seperti penerangan pada sektor Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM). Sistem tersebut mampu beroperasi secara mandiri tanpa ketergantungan pada jaringan listrik PLN, sehingga berpotensi menjadi solusi energi alternatif yang fleksibel, hemat energi, dan ramah lingkungan.(Murtadho, 2025)

Meskipun demikian, pengoperasian pembangkit hybrid masih memiliki keterbatasan pada aspek monitoring parameter kelistrikan dan termal. Parameter seperti tegangan, arus, dan suhu merupakan indikator penting dalam mengetahui performa, efisiensi, serta kondisi kerja sistem. Tanpa sistem monitoring yang baik, proses evaluasi kinerja pembangkit menjadi kurang optimal dan berisiko menimbulkan gangguan operasional.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan proses monitoring dilakukan secara real-time dan jarak jauh melalui jaringan internet. Dengan integrasi sensor, mikrokontroler, dan platform IoT, data pembangkitan dapat dipantau, direkam, dan dianalisis secara berkelanjutan. Hal ini memberikan kemudahan dalam pengawasan sistem, meningkatkan efisiensi pemeliharaan, serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data.

Berdasarkan uraian tersebut, maka diperlukan penelitian yang berfokus pada rancang bangun sistem monitoring pembangkit hybrid PV–TEG berbasis IoT guna memantau parameter tegangan, arus, dan suhu secara *real-time*. Penelitian ini diharapkan mampu meningkatkan efektivitas pengawasan kinerja sistem, sekaligus mendukung pengembangan teknologi pembangkit energi terbarukan yang lebih cerdas dan terintegrasi.

1.2 Rumusan Masalah

Sistem pembangkit *hybrid Photovoltaic* (PV) dan *Thermoelectric* Generator (TEG) merupakan salah satu inovasi pemanfaatan energi terbarukan yang mengombinasikan konversi energi cahaya dan panas menjadi energi listrik. Integrasi kedua sumber energi ini berpotensi meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi surya, khususnya melalui pemanfaatan panas buangan panel surya. Namun

demikian, kinerja sistem hybrid sangat dipengaruhi oleh parameter kelistrikan dan termal seperti tegangan, arus, dan suhu. Tanpa sistem monitoring yang terintegrasi, proses pengawasan performa pembangkit menjadi kurang optimal. Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan monitoring dilakukan secara *real-time* dan jarak jauh, sehingga diperlukan rancang bangun sistem yang mampu mengakomodasi kebutuhan tersebut. Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membangun sistem monitoring pada pembangkit hybrid PV–TEG berbasis *Internet of Things* (IoT)?
2. Bagaimana mengintegrasikan sensor tegangan, arus, dan suhu dengan mikrokontroler agar data dapat dipantau secara *real-time* melalui jaringan internet?
3. Bagaimana kinerja sistem monitoring berbasis IoT dalam menampilkan dan mengirim data parameter pembangkit hybrid PV–TEG?
4. Bagaimana karakteristik perubahan tegangan, arus, dan suhu yang dihasilkan pada sistem hybrid PV–TEG berdasarkan kondisi operasional?
5. Bagaimana tingkat keandalan dan efektivitas sistem monitoring berbasis IoT yang dirancang dalam mendukung analisis performa pembangkit?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah, fokus, dan tidak menyimpang dari tujuan yang ingin dicapai, maka ruang lingkup penelitian perlu dibatasi. Pembatasan ini ditetapkan berdasarkan aspek perancangan sistem, parameter yang dimonitoring, serta metode implementasi teknologi *Internet of Things* (IoT) yang digunakan. Dengan adanya batasan masalah, proses perancangan, pengujian, dan analisis sistem dapat dilakukan secara lebih sistematis dan mendalam. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian difokuskan pada rancang bangun sistem monitoring pada pembangkit hybrid *Photovoltaic* (PV) dan *Thermoelectric Generator* (TEG).
2. Parameter yang dimonitoring dibatasi pada tegangan, arus, dan suhu pada sistem pembangkit hybrid.

3. Sistem monitoring dikembangkan berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler yang memiliki fitur komunikasi jaringan (WiFi).
4. Media komunikasi data dibatasi menggunakan jaringan internet nirkabel dan platform IoT tertentu (misalnya *Thingspeak*, *Blynk*, atau sejenisnya) sesuai rancangan.
5. Sistem yang dirancang hanya berfungsi untuk monitoring dan perekaman data, tidak mencakup sistem kontrol otomatis maupun manajemen beban.

1.4 Tujuan Dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, maka tujuan penelitian ini adalah untuk merancang, mengembangkan, serta menganalisis sistem monitoring pada pembangkit *hybrid Photovoltaic* (PV) dan *Thermoelectric Generator* (TEG) berbasis *Internet of Things* (IoT). Secara rinci, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun sistem monitoring pada pembangkit hybrid PV–TEG berbasis *Internet of Things* (IoT).
2. Mengintegrasikan sensor tegangan, arus, dan suhu dengan mikrokontroler agar mampu melakukan pengukuran dan pengiriman data secara real-time melalui jaringan internet.
3. Menganalisis kinerja sistem monitoring berbasis IoT dalam menampilkan serta mentransmisikan data parameter pembangkit hybrid.
4. Mengidentifikasi karakteristik perubahan tegangan, arus, dan suhu yang dihasilkan oleh sistem hybrid PV–TEG berdasarkan kondisi operasional.
5. Mengevaluasi tingkat keandalan dan efektivitas sistem monitoring dalam mendukung analisis performa pembangkit energi hybrid.

1.4.2 Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoretis

Secara teoretis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang Teknik Elektro, khususnya pada kajian sistem monitoring energi terbarukan berbasis *Internet of Things* (IoT). Hasil

penelitian ini dapat memperkaya literatur mengenai integrasi teknologi *Photovoltaic* (PV) dan Thermoelectric Generator (TEG) yang dilengkapi dengan sistem pemantauan parameter kelistrikan dan termal secara *real-time*. Selain itu, penelitian ini juga berkontribusi dalam pengembangan konsep rancang bangun sistem monitoring cerdas (*smart monitoring system*) yang mampu mendukung digitalisasi pengelolaan energi terbarukan. Data hasil pengujian dan analisis yang diperoleh dapat menjadi referensi akademik untuk penelitian lanjutan terkait optimasi efisiensi, data *logging*, maupun integrasi kontrol otomatis pada sistem pembangkit hybrid.

2. Manfaat Praktis

Secara praktis, penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

- a. Bagi Mahasiswa/Peneliti, Sebagai referensi dan media pembelajaran dalam merancang sistem monitoring energi terbarukan berbasis IoT.
- b. Bagi Institusi Pendidikan, Dapat dimanfaatkan sebagai alat praktikum atau modul pembelajaran pada laboratorium konversi energi dan sistem kendali.
- c. Bagi Pengembang Energi Terbarukan, Menjadi solusi alternatif sistem monitoring pembangkit hybrid yang ekonomis dan dapat dipantau jarak jauh.
- d. Bagi Industri/Praktisi Teknik, Memberikan gambaran implementasi teknologi IoT dalam pemantauan performa pembangkit listrik hybrid secara *real-time*.
- e. Bagi Penelitian Selanjutnya, Menjadi dasar pengembangan riset lanjutan, seperti integrasi penyimpanan data cloud, sistem kontrol otomatis, maupun *smart grid renewable energy*.

1.5 Metode Penyelesaian Masalah

Metode penyelesaian masalah dalam penelitian ini dilakukan secara sistematis untuk merancang dan membangun sistem monitoring pada pembangkit hybrid PV–TEG berbasis *Internet of Things* (IoT). Adapun tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur, Mengumpulkan dan mempelajari referensi berupa jurnal, buku, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pembangkit hybrid

PV–TEG, sensor monitoring, mikrokontroler, serta sistem IoT.

2. Analisis Kebutuhan Sistem, Menentukan kebutuhan alat dan bahan yang digunakan, seperti panel surya (PV), modul TEG, sensor tegangan, arus, suhu, mikrokontroler, serta modul komunikasi IoT.
3. Perancangan Sistem, Melakukan perancangan *hardware* dan *software* yang meliputi pembuatan blok diagram, rangkaian sensor, serta perancangan program pembacaan dan pengiriman data ke platform IoT.
4. Pembuatan dan Pengujian Alat, Melakukan perakitan alat sesuai perancangan, kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui kinerja sistem monitoring serta kestabilan pengiriman data secara *real-time*.
5. Analisis Data dan Evaluasi, Data hasil pengujian dianalisis untuk mengetahui akurasi sensor, performa sistem hybrid PV–TEG, serta keberhasilan sistem monitoring berbasis IoT yang telah dirancang.