

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Di era modern ini, ketika kebutuhan energi terus meningkat dan kekhawatiran terhadap perubahan iklim semakin mendalam energi terbarukan menjadi solusi semakin penting. Salah satu bentuk energi terbarukan yang mempunyai potensi besar adalah energi surya. Radiasi matahari yang mencapai bumi setiap hari dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik melalui teknologi panel surya Rival dan Wendy (2025). Namun, penggunaan *Photovoltaic* memiliki kendala efisiensi yang menurun ketika suhu panel terlalu panas akibat paparan radiasi matahari. Di sisi lain, panas yang terbuang tersebut sebenarnya dapat dimanfaatkan kembali menggunakan *Thermoelectric Generator* (TEG) melalui pemanfaatan selisih suhu. Penggabungan kedua teknologi ini menjadi Stasiun Pengecasan Hibrida PV-TEG merupakan solusi inovatif untuk memaksimalkan konversi energi.

Sistem hibrida pada stasiun pengecasan ini menempatkan *Photovoltaic* dan modul termoelektrik dalam satu kesatuan struktur fungsional untuk mengoptimalkan pemanenan energi dari radiasi matahari. Dalam posisi ini, *Photovoltaic* bertindak sebagai pemanen energi utama melalui konversi foton, sementara modul TEG ditempatkan pada sisi belakang panel untuk memanfaatkan panas terbuang yang sering kali menjadi kendala efisiensi pada sistem PV konvensional. Integrasi kedua teknologi ini menciptakan sebuah sistem pengisian baterai dua jalur yang saling melengkapi, di mana penurunan performa pada satu sisi akibat panas berlebih diharapkan dapat dikompensasi oleh bangkitan energi dari sisi lainnya.

Perilaku operasional sistem ini sangat bergantung pada fluktuasi parameter lingkungan yang saling berpengaruh. Intensitas cahaya matahari memiliki hubungan linear terhadap arus yang dihasilkan oleh *Photovoltaic*, di mana semakin tinggi nilai intensitas cahaya yang terbaca oleh sensor, maka semakin besar pula konversi daya listriknya. Namun, di saat yang sama, peningkatan radiasi matahari juga menyebabkan kenaikan suhu permukaan *Photovoltaic* yang signifikan. Di sinilah peran parameter suhu menjadi krusial bagi modul TEG, di

mana daya listrik yang dihasilkan tidak hanya bergantung pada suhu panas yang diterima, melainkan pada stabilitas selisih suhu antara sisi panas dan sisi dingin modul. Perilaku termal ini bersifat kompleks, karena efisiensi TEG sangat bergantung pada kemampuan sistem dalam menjaga perbedaan suhu tersebut melalui mekanisme pelepasan panas yang efektif.

Pemantauan secara *real-time* sangat diperlukan untuk melihat sejauh mana sinergi antara intensitas cahaya dan selisih suhu berkontribusi terhadap total daya pengisian baterai. Selama ini, banyak pengembangan sistem hibrida hanya fokus pada hasil akhir tanpa melakukan pengamatan mendetail terhadap proses yang terjadi di dalamnya, sehingga operator tidak mengetahui secara pasti variabel mana yang sedang bekerja maksimal. Tanpa sistem monitoring yang presisi, sangat sulit untuk menentukan titik kerja optimal sistem hibrida ini, mengingat karakteristik elektrik PV dan TEG yang berbeda dapat saling memengaruhi saat digabungkan dalam satu jalur pengisian. Oleh karena itu, Dengan menggunakan sistem monitoring berbasis IoT ini diharapkan dapat mempermudah pemantauan variabel proses, mulai dari arus, tegangan, intensitas cahaya, hingga suhu secara *real-time* Emilio (2022). Dengan adanya rekaman data yang sistematis ke dalam database, kita dapat melakukan analisis yang benar dan akurat terhadap proses konversi energi yang sedang berlangsung. Hal ini penting untuk menghindari spekulasi tanpa bukti ilmiah yang kuat, sehingga penentuan titik kerja paling efisien dari alat tersebut dapat dibuktikan melalui validasi data yang handal dan terukur.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem monitoring PLTS maupun TEG secara terpisah dengan berbagai metode pengiriman data. Namun, pada penelitian Sari et al. (2024) fokus monitoring terbatas pada parameter elektrik panel surya tanpa memperhatikan variabel temperatur permukaan yang krusial. Di sisi lain, penelitian Utami dan Daud telah menyertakan monitoring suhu, namun sistem tersebut belum terintegrasi dengan penyimpanan data lokal sebagai cadangan jika terjadi gangguan jaringan. Begitu pula pada rancang bangun oleh Fahruri et al. (2021) yang menggunakan sistem SMS *gateway* untuk pengiriman data, di mana metode ini memiliki keterbatasan dalam menyajikan visualisasi data secara *real-time* dan interaktif dibandingkan

dengan platform IoT modern. Perbedaan utama pada alat yang dirancang dalam proyek akhir ini terletak pada integrasi sistem monitoring hibrida (PV dan TEG) yang menggabungkan dua mekanisme penyimpanan data sekaligus. Sistem ini tidak hanya berfungsi sebagai penampil data lokal, tetapi juga mengintegrasikan IoT untuk mengirimkan data parameter proses ke server berbasis Node-RED. Platform ini dirancang untuk menyajikan visualisasi data yang komprehensif melalui *dashboard* interaktif, sehingga memudahkan operator dalam memahami kondisi parameter proses secara cepat dan akurat melalui representasi grafis yang informatif. Seluruh data tersebut kemudian disimpan secara terstruktur ke dalam database MongoDB.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menerapkan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk pengawasan energi jarak jauh agar operator tidak harus datang langsung ke lokasi. Namun, ketergantungan penuh pada jaringan internet menjadi tantangan tersendiri, terutama jika terjadi gangguan sinyal yang menyebabkan data tidak terkirim ke platform IoT. Pada kondisi kendala jaringan, kebutuhan untuk memantau parameter proses secara *real-time* dan menyimpan data historis tetap menjadi hal yang krusial agar operasional stasiun pengisian tidak terganggu. Oleh karena itu, proyek akhir ini merancang sebuah sistem monitoring yang dilengkapi dengan lokal mode display dan lokal memori. Dengan adanya layar LCD sebagai tampilan lokal, operator tetap dapat melihat parameter proses secara langsung di lokasi alat meskipun koneksi internet terputus. Selain itu, penggunaan SD Card sebagai memori lokal berfungsi sebagai data logger untuk memastikan seluruh data parameter tetap tersimpan secara fisik. Integrasi penyimpanan ganda dan tampilan lokal ini menjadikan alat lebih unggul dibandingkan penelitian terdahulu, karena menjamin ketersediaan informasi parameter proses yang lebih lengkap dan aman dalam berbagai kondisi jaringan.

Melalui berbagai pendekatan tersebut, proyek akhir dengan judul 'Sistem Monitoring Parameter Proses pada Stasiun Pengecasan Hibrida PV-Termoelektrik Berbasis IoT' ini hadir sebagai solusi pengawasan energi yang lebih komprehensif. Perangkat yang dikembangkan dirancang terintegrasi pada boks panel serta dilengkapi dengan *local display* guna menjamin ketersediaan data meskipun terjadi kendala jaringan. Dengan kemampuan *monitoring* jarak jauh dan

cakupan parameter yang lebih lengkap meliputi arus, tegangan, intensitas cahaya, hingga temperatur sisi panas dan dingin TEG.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan masalah yang dapat dijadikan fokus pada proyek akhir ini adalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana merancang dan membuat alat *monitoring* yang terintegrasi pada boks panel untuk mengakuisisi data parameter proses pada stasiun pengecasan hibrida PV-Thermoelektrik (arus, tegangan, suhu, dan intensitas cahaya)?
- 2) Bagaimana merancang sistem penyimpanan data lokal menggunakan SD Card sebagai *data logger* proses pada stasiun pengecasan hibrida PV-Thermoelektrik (arus, tegangan, suhu, dan intensitas cahaya)?
- 3) Bagaimana mengintegrasikan pengiriman data parameter proses menggunakan protokol MQTT menuju server berbasis Node-RED untuk selanjutnya disimpan ke dalam database MongoDB?
- 4) Bagaimana merancang visualisasi data pada *dashboard* IoT yang informatif agar informasi parameter proses mudah dipahami oleh pengguna secara *real-time*?

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dalam pembuatan proyek akhir ini adalah:

- a) Parameter proses yang diukur mencakup variabel elektrik berupa tegangan (V) dan arus (A) dari *output* Photovoltaic, *output* modul termoelektrik (TEG), dan status pengisian baterai menggunakan sensor INA219, variabel suhu pada sisi panas dan dingin modul termoelektrik menggunakan dua buah sensor MLX90614, serta intensitas cahaya matahari menggunakan sensor Gravity I2C IP68 Waterproof Ambient Light Sensor sebagai data pendukung.
- b) Sistem penyimpanan data dilakukan secara ganda, yaitu penyimpanan fisik pada microSD card melalui slot pada modul Waveshare dan penyimpanan basis data (*database*) pada MongoDB.

- c) Visualisasi data jarak jauh diakses melalui *dashboard* Node-RED yang menyajikan parameter proses dalam bentuk grafis yang interaktif dan mudah dipahami.
- d) Transmisi data dari modul Waveshare ESP32-S3 Touch Display 4.3 ke server Node-RED sangat bergantung pada kestabilan jaringan nirkabel (Wi-Fi) yang digunakan.

## 1.4 Tujuan dan Manfaat

### 1.4.1 Tujuan

Adapun tujuan dalam pembuatan proyek akhir ini adalah:

- a) Merancang desain alat *monitoring* yang terintegrasi pada boks panel guna menjamin keandalan operasional serta kemudahan akses bagi pengguna saat melakukan pengamatan data di lapangan.
- b) Merancang sistem yang mampu membaca data parameter arus, tegangan, dan suhu pada Stasiun pengecasan hibrida dengan tingkat presisi yang tinggi melalui mikrokontroler.
- c) Membuat sistem penyimpanan data lokal pada SD Card sebagai *data logger* serta mengintegrasikan pengiriman data ke database MongoDB untuk manajemen data historis secara sistematis.
- d) Mendesain antarmuka visualisasi data pada *dashboard* Node-RED yang informatif dan interaktif untuk memudahkan operator dalam memahami berbagai macam parameter proses secara *real-time*.

### 1.4.2 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari proyek ini, antara lain:

- a) Mempermudah pemantauan parameter arus, tegangan, suhu, dan intensitas cahaya secara *real-time*.
- b) Menjamin keamanan dan ketersediaan data parameter proses meskipun terjadi gangguan jaringan internet dengan adanya sistem penyimpanan ganda pada SD Card dan database MongoDB.
- c) Memberikan data pendukung yang akurat untuk melihat pengaruh fluktuasi cuaca terhadap efisiensi energi pada sistem hibrida PV-TEG.

- d) Memungkinkan pengawasan operasional stasiun pengecasan secara jarak jauh melalui visualisasi *dashboard* Node-RED yang interaktif dan sistematis.