

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, perkembangan industri, serta peningkatan standar hidup masyarakat [1]. Namun, ketergantungan yang masih tinggi terhadap sumber energi fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam menimbulkan tantangan serius, baik dari sisi ketahanan energi nasional maupun dampak lingkungan, terutama emisi gas rumah kaca yang menjadi penyebab utama perubahan iklim global [2]. Oleh karena itu, diversifikasi sumber energi dengan memanfaatkan energi baru dan terbarukan (EBT) menjadi langkah strategis untuk menghadapi tantangan tersebut. Energi surya, sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang melimpah dan ramah lingkungan, memiliki potensi besar untuk dikembangkan di Indonesia [3][4].

Pemerintah Indonesia melalui RUPTL 2025–2034 menetapkan target penambahan 69,5 GW kapasitas pembangkit listrik, dengan 61% atau sekitar 42,6 GW berasal dari energi baru dan terbarukan (EBT), termasuk 17,1 GW dari pembangkit surya. PLTS Atap menjadi salah satu pilar utama dalam strategi transisi energi ini, didukung oleh regulasi terbaru Permen ESDM No. 2 Tahun 2024 yang memberikan fleksibilitas pemasangan tanpa batas kuota dan skema ekspor-impor energi yang lebih adaptif. Langkah ini menunjukkan komitmen pemerintah dalam mendorong pemanfaatan PLTS skala rumah tangga sebagai upaya peningkatan efisiensi energi, pengurangan ketergantungan terhadap energi fosil, dan percepatan transisi menuju sistem kelistrikan rendah karbon [5].

Sistem PLTS Atap menjadi alternatif efektif dalam meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi listrik, khususnya untuk daerah yang ingin mengoptimalkan penggunaan sumber energi terbarukan dan mengurangi ketergantungan pada pasokan listrik dari jaringan konvensional [6]. Di wilayah perkotaan, implementasi sistem ini juga berpotensi mendukung pengelolaan energi yang lebih efisien dengan skema net metering, yang memungkinkan ekspor-impor energi antara rumah tangga dengan jaringan PLN [7].

Namun, terdapat kendala ketidakseimbangan antara waktu produksi energi oleh panel surya dengan pola konsumsi energi rumah tangga. Produksi energi surya umumnya terjadi saat siang hari, sementara konsumsi puncak sering terjadi pada pagi dan malam hari [8]. Ketidakesesuaian ini menyebabkan energi yang dihasilkan tidak selalu dimanfaatkan secara optimal dan rumah tangga tetap harus mengandalkan listrik dari PLN di waktu-waktu konsumsi tinggi, sehingga efisiensi penggunaan energi menjadi rendah [9].

Dalam sistem PLTS Atap yang konvensional, energi yang dihasilkan oleh panel surya umumnya hanya digunakan secara satu arah, yaitu langsung disalurkan ke beban rumah tangga. Ketika produksi energi lebih rendah dari kebutuhan, rumah tangga akan mengambil kekurangan energi dari jaringan PLN [10]. Namun, apabila energi yang dihasilkan berlebih, kelebihan tersebut biasanya tidak dimanfaatkan dan terbuang begitu saja, terutama jika sistem tidak dilengkapi dengan penyimpanan atau mekanisme ekspor. Hal ini menyebabkan potensi energi terbarukan tidak dimanfaatkan secara maksimal.

Sebaliknya, sistem PLTS Atap yang mendukung aliran energi dua arah memungkinkan energi listrik mengalir tidak hanya dari jaringan PLN ke rumah (impor), tetapi juga dari PLTS ke jaringan PLN (ekspor) saat terjadi surplus produksi. Skema ini biasa didukung oleh sistem net metering, di mana energi berlebih yang diekspor ke jaringan akan dikreditkan dan dikompensasikan dengan pemakaian listrik dari PLN di waktu lain. Dengan demikian, sistem dua arah memberikan fleksibilitas lebih tinggi dalam pemanfaatan energi, serta membuka peluang untuk efisiensi energi dan penghematan biaya listrik secara signifikan.

Sistem monitoring energi dua arah berbasis data *real-time* menjadi solusi penting untuk meningkatkan efektivitas pemanfaatan energi surya. Sistem ini memungkinkan pemantauan secara langsung performa sistem PLTS Atap, termasuk daya keluaran panel surya, konsumsi beban, serta aliran daya ekspor dan impor ke jaringan PLN. Informasi ini memberikan dasar bagi pengguna untuk mengatur penggunaan energi secara lebih efisien dan cerdas [11]. Misalnya dengan mengoperasikan perangkat berdaya tinggi saat energi surya melimpah, sehingga mengurangi ketergantungan pada listrik PLN.

Lebih lanjut, integrasi monitoring energi dengan analisis data *real-time* memungkinkan identifikasi tren konsumsi dan produksi energi serta rekomendasi pengelolaan beban yang optimal [12]. Hal ini mendukung terciptanya sistem pengelolaan energi rumah tangga yang lebih efisien dan berkelanjutan. Selain aspek teknis, transparansi data konsumsi dan produksi energi juga meningkatkan kesadaran pengguna dalam penggunaan energi yang lebih bertanggung jawab.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait monitoring sistem PLTS Atap, antara lain penelitian yang dilakukan oleh Irvan Zikri dengan judul "Monitoring *Real-Time Solar Home System* Menggunakan PZEM-004T Berbasis *Internet of Things*". Pada penelitian tersebut, sistem monitoring difokuskan pada perancangan untuk memantau parameter listrik seperti tegangan, arus, dan daya keluaran panel surya secara *real-time* menggunakan sensor PZEM-004T yang terintegrasi dengan platform IoT [13]. Namun, sistem ini belum mengakomodasi analisis aliran energi dua arah (ekspor-impor) yang terjadi antara PLTS Atap dan jaringan listrik PLN. Oleh karena itu, penelitian ini dikembangkan dengan menitikberatkan pada evaluasi efisiensi energi melalui monitoring daya dua arah secara *real-time* serta analisis profil aliran energi ekspor-impor, sehingga dapat

memberikan kontribusi yang lebih komprehensif dalam pengelolaan energi terbarukan pada sistem PLTS Atap.

Penelitian ini difokuskan pada pengembangan dan implementasi sistem monitoring energi dua arah berbasis data *real-time* pada sistem PLTS Atap untuk penghematan energi. Tujuan utama penelitian ini adalah mengoptimalkan pemanfaatan energi surya dan mengurangi ketergantungan pada jaringan PLN melalui pemantauan dan analisis aliran daya ekspor-impor secara *real-time*. Pendekatan penelitian tidak hanya mengutamakan aspek teknis pengukuran dan pengolahan data, tetapi juga pemanfaatan hasil monitoring secara praktis untuk mendukung efisiensi dan keberlanjutan energi di tingkat rumah tangga.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan, maka penulis merumuskan permasalahan, yaitu:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring energi dua arah berbasis data *real-time* yang mampu merekam parameter kelistrikan seperti arus, tegangan, daya, energi, dan frekuensi pada sistem PLTS Atap?
2. Bagaimana menganalisis data *real-time* untuk mengidentifikasi karakteristik aliran daya ekspor dan impor antara sistem PLTS Atap dan jaringan PLN secara akurat?
3. Bagaimana pemanfaatan data historis energi dapat digunakan untuk menyusun strategi pengelolaan beban listrik yang mendukung peningkatan efisiensi pemanfaatan energi surya?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah ini, maka tujuan dari penelitian ini, yaitu:

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring energi dua arah berbasis data *real-time* yang mampu merekam parameter kelistrikan seperti arus, tegangan, daya, energi, dan frekuensi pada sistem PLTS Atap
2. Menganalisis data *real-time* untuk mengidentifikasi karakteristik aliran daya ekspor dan impor antara Sistem PLTS Atap dan jaringan PLN.
3. Mengolah data historis energi sebagai dasar informasi untuk mendukung perencanaan pengelolaan beban listrik rumah tangga secara lebih efisien.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian ini, maka manfaat dari penelitian ini, yaitu:

1. Menyediakan solusi teknis untuk pemantauan dan evaluasi performa energi pada Sistem PLTS Atap melalui sistem monitoring dua arah berbasis data *real-time*.
2. Menyediakan informasi kuantitatif mengenai profil konsumsi dan produksi energi yang dapat dimanfaatkan pengguna untuk merencanakan penggunaan beban secara lebih efisien.
3. Memberikan dasar bagi pengembangan sistem energi rumah tangga yang lebih adaptif dan berkelanjutan melalui analisis data historis dan pemantauan *real-time*.
4. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi monitoring energi berbasis Internet of Things (IoT) yang mendukung integrasi energi terbarukan dalam sistem kelistrikan rumah tangga.

1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan manfaat penelitian, maka batasan masalah dari penelitian ini, yaitu:

1. Penelitian ini hanya difokuskan pada sistem PLTS Atap tanpa melibatkan sistem penyimpanan energi.
2. Analisis data dilakukan pada satu unit rumah tangga sebagai studi kasus, dan tidak mencakup sistem skala besar seperti PLTS komunal atau grid terdistribusi.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan penelitian disusun sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi terkait uraian latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori dasar yang mendukung penelitian Tugas Akhir.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memuat tentang prosedur penelitian, metode penelitian, rencana tabel yang akan digunakan pada penelitian, dan flowchart penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi data hasil pengujian dan pembahasan dalam penelitian Tugas Akhir.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran terkait penelitian Tugas Akhir.

