

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia telah menghadapi tantangan besar dalam memenuhi kebutuhan energi. Potensi negara dalam sumber daya energi terbarukan sangat luas, sehingga sangat penting untuk mencapai tujuan keberlanjutan dan mengurangi dampak lingkungan. Hal ini merupakan potensi besar bagi Indonesia untuk mengembangkan energi terbarukan, terutama tenaga surya [1]. Kondisi Indonesia yang berada di daerah tropis memberikan potensi energi surya yang sangat besar, dengan rata-rata 4,8 kWh/m²/hari atau setara dengan 112.000 GWp [2]. Pemerintah Indonesia telah menetapkan energi surya sebagai prioritas dalam mencapai target bauran energi baru sebesar 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050, sebagaimana tercantum dalam Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional [3].

Sejak awal era industri, sektor ketenagalistrikan dan transportasi menjadi penyumbang emisi gas rumah kaca (GRK) yang cukup besar dan berperan penting dalam pemanasan global [4]. Sektor transportasi sendiri menyumbang sekitar 14% dari seluruh emisi GRK, dengan mesin pembakaran internal mendominasi armada kendaraan global, sehingga menekankan perlunya mengurangi emisi dari sektor ini [5]. Selain itu, sektor energi, termasuk pembangkit listrik, telah menjadi kontributor utama emisi GRK, dan proyeksinya menunjukkan adanya peningkatan besar dalam konsumsi energi pada tahun 2050, sehingga semakin memperburuk masalah ini [6]. Hal ini disebabkan karena kedua sektor tersebut selama ini mengandalkan bahan bakar fosil. Transisi menuju energi yang lebih berkelanjutan dan sistem transportasi rendah emisi telah dipromosikan secara global dalam beberapa tahun terakhir. Negara-negara seperti Jerman dan Amerika Serikat telah menerapkan insentif dan infrastruktur untuk mendukung transisi energi di sektor transportasi mereka, khususnya melalui pengembangan stasiun pengisian *Electric Vehicle* (EV) berbasis energi terbarukan [7].

Sektor transportasi, yang merupakan konsumen terbesar bahan bakar fosil dan penghasil karbon dioksida, merupakan titik fokus transisi ke sumber energi yang lebih ramah lingkungan. Oleh karena itu, ada urgensi global untuk beralih ke kendaraan listrik EV yang menawarkan solusi lebih ramah lingkungan. Secara global penggunaan kendaraan listrik telah meningkat pesat mencapai pangsa pasar dunia sebesar 2,6% pada tahun 2019 [8]. Elektrifikasi kendaraan dengan intensitas karbon yang relatif rendah menjadi tren ke depan dalam mengurangi pemanasan global. Pada tahun 2020, pencapaian target bauran energi baru di Indonesia baru mencapai sekitar setengah dari target yang ditetapkan untuk tahun 2025, yaitu 11,31% dari target sebesar 23% [9].

Untuk mempercepat pencapaian target tersebut, perlu dilakukan peningkatan pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia untuk mengatasi perubahan iklim dan mengantisipasi krisis ekonomi dan energi di masa mendatang. Perubahan iklim dapat menimbulkan dampak serius seperti peningkatan suhu sebesar 0,45-0,75°C, perubahan curah hujan sebesar $\pm 2,5$ mm/hari, kenaikan muka air laut sebesar 0,8-1,2 cm/tahun, dan peningkatan gelombang ekstrem lebih dari 1,5 m [10].

Penelitian yang telah dilakukan umumnya meneliti tentang manajemen pengisian daya kendaraan listrik berbasis surya yang terhubung dengan jaringan utilitas. Salah satu penelitian mengembangkan penjadwalan pengisian cerdas dan strategi manajemen daya pada stasiun pengisian berbasis *PV-battery* [11]. Selain itu, strategi manajemen yang optimal untuk ukuran dan energi pada stasiun pengisian kendaraan listrik dengan penyimpanan energi berbasis *flywheel* juga telah dilaporkan [12]. Mitigasi fluktuasi daya prediktif pada sistem PLTS yang terhubung ke jaringan dengan respons cepat untuk stasiun pengisian kendaraan listrik merupakan upaya lain yang telah dikembangkan. Penggunaan sistem IoT berbasis NodeMCU ESP32 menggunakan *platform Blynk* dengan mempertimbangkan kapasitas baterai penyimpanan PLTS telah dirancang dan hasilnya telah dipublikasikan [13].

Meskipun penelitian sebelumnya telah banyak membahas integrasi energi terbarukan pada sistem pengisian daya kendaraan listrik, kajian mengenai manajemen sistem pengisian daya yang mempertimbangkan ketersediaan tenaga matahari secara real-time serta kapasitas penyimpanan baterai masih terbatas. Penelitian menyoroti manfaat dari mengintegrasikan sumber energi terbarukan tenaga surya ke dalam infrastruktur pengisian daya kendaraan listrik, menekankan berkurangnya ketergantungan pada bahan bakar fosil, penurunan emisi karbon, dan peningkatan keberlanjutan [14][15].

Ada dua pendekatan untuk mengisi daya kendaraan listrik menggunakan tenaga surya adalah PLTS *on-grid* dan PLTS *standalone*. Pendekatan PLTS *on-grid* melibatkan menghubungkan sistem PLTS surya ke jaringan listrik, memungkinkan pengisian daya dan pasokan listrik tanpa gangguan ke beban rumah tangga dan kendaraan listrik, dengan kemampuan untuk beralih ke listrik jaringan ketika pembangkitan tenaga surya tidak mencukupi [16]. Pengisian PLTS *on-grid* memiliki keuntungan bahwa selama penyinaran matahari tidak mencukupi, pengisian dapat dilakukan dengan menggunakan grid [17].

PLTS merupakan solusi energi listrik yang praktis diterapkan, namun kinerjanya sangat dipengaruhi oleh variasi kondisi cuaca. Saat intensitas sinar matahari rendah, PLTS mungkin tidak dapat beroperasi secara optimal. Untuk itu, PLTS dapat dirancang sebagai bagian dari sistem pembangkit listrik yang terintegrasi dengan sumber listrik dari PLN guna memastikan ketersediaan

energi cadangan. Dengan kombinasi ini, pasokan listrik dapat beroperasi secara berkelanjutan, sehingga kebutuhan energi dapat terpenuhi meskipun terjadi perubahan kondisi cuaca. Sistem ini menggunakan *Automatic Transfer Switch* (ATS) untuk mengalihkan sumber daya secara otomatis antara PLTS dan PLN sesuai dengan ketersediaan energi.

Daya yang dihasilkan oleh PLTS disimpan dalam baterai sebagai cadangan energi untuk memastikan pasokan listrik tetap tersedia saat intensitas sinar matahari rendah. Untuk menjaga efisiensi dan umur pakai baterai, sistem dilengkapi dengan *Battery Management System (BMS)* yang berperan dalam mengatur pengisian dan pemakaian daya baterai. BMS juga bertanggung jawab dalam memantau *State of Charge (SoC)* baterai, yaitu persentase kapasitas energi yang tersedia di dalam baterai [18]. Metode *coulomb counting* digunakan untuk memantau SoC dengan cara mengukur arus listrik yang masuk dan keluar dari baterai. Dengan metode ini, arus yang disuplai dan yang digunakan oleh beban akan dicatat, sehingga tingkat SoC dapat dipantau secara akurat. Hal ini penting untuk memastikan baterai tidak mengalami *overcharge* atau *overdischarge*, yang dapat menurunkan kapasitas dan umur baterai.

PLTS mengandalkan radiasi matahari untuk menghasilkan listrik, tetapi intensitas radiasi dapat berfluktuasi karena kondisi cuaca. Intensitas radiasi matahari memiliki hubungan langsung dengan output panel fotovoltaik; semakin besar sinar matahari, semakin tinggi output listrik yang dihasilkan. Suhu sekitar juga memiliki pengaruh positif, di mana suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan efisiensi panel [19]. Studi menemukan bahwa intensitas radiasi matahari tertinggi yang terukur mencapai 1000 W/m^2 , yang mengindikasikan seberapa baik panel fotovoltaik dapat menangkap energi matahari untuk diubah menjadi output listrik. Output daya panel secara langsung bergantung pada intensitas radiasi matahari, yang sejalan dengan harapan kinerja sistem fotovoltaik [20].

Suhu panel fotovoltaik dapat meningkat akibat paparan sinar matahari yang intens, pendinginan alami oleh angin menjadi penting untuk menjaga efisiensi kinerja panel. Oleh karena itu, pengukuran kecepatan angin menggunakan anemometer sangat berguna dalam sistem PLTS, karena angin yang cukup dapat mendinginkan panel dan mencegah panas berlebih. Kecepatan angin yang tinggi dapat meningkatkan efisiensi PV dengan menurunkan suhu panel, Dengan mengintegrasikan data dari anemometer dan pyranometer, keandalan kinerja sistem PV dapat ditingkatkan.

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan di atas, pada penelitian ini penulis mengusulkan pembahasan dengan judul **“Pengembangan Sistem Manajemen Pengisian Daya Kendaraan Listrik berbasis Raspberry Pi dengan Integrasi Energi Surya”**. Sistem yang diusulkan akan menggunakan

mikrokontroler Raspberry Pi dan mencakup sensor PZEM-004T untuk pemantauan arus, tegangan, daya, energi, dan biaya listrik selama proses pengisian daya. Untuk pengalihan otomatis antara sumber listrik PLTS dan PLN, digunakan relay MK2P-I, sementara relayDC 5V 2 Channel 30A akan mengontrol penggunaan baterai lithium lifepo4 100Ah sebagai sumber cadangan. Sensor arus ACS712 dan sensor tegangan DC akan mendeteksi kondisi arus dan tegangan baterai lithium life po4 100Ah, yang kemudian akan dikelola melalui metode *coulomb counting* (CC) guna memantau *state of charge* (SoC) baterai secara akurat.

Komponen PLTS dalam sistem ini terdiri dari panel surya monokristalin 250 Wp, *Solar Charger Controller* (SCC) 30A, baterai Lithium LiFe PO4 100Ah, dan inverter. Dengan desain ini, diharapkan sistem dapat menjaga efisiensi energi dan keberlanjutan pengisian daya kendaraan listrik meskipun terjadi fluktuasi intensitas sinar matahari. Keseluruhan sistem akan memberikan solusi manajemen daya berbasis energi terbarukan yang lebih andal dan mendukung upaya transisi ke kendaraan rendah emisi, sekaligus mempercepat pencapaian target bauran energi terbarukan di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut adalah beberapa rumusan masalah yang dapat dikembangkan dari latar belakang diatas:

1. Bagaimana merancang dan mengembangkan sistem manajemen pengisian daya kendaraan listrik yang efisien memanfaatkan tenaga surya berbasis IoT menggunakan Raspberry Pi?
2. Bagaimana mengoptimalkan pemakaian energi surya melalui ATS ke grid PLN dengan mempertimbangkan ketersediaan matahari dan kapasitas baterai?
3. Bagaimana mengintegrasikan teknologi web monitoring dalam sistem pengisian daya kendaraan listrik untuk meningkatkan efisiensi secara real time?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Merancang sistem manajemen pengisian daya yang mampu mengkoordinasikan operasi pembangkit tenaga surya, baterai, dan grid dengan efisien.
2. Mengoptimalkan pemakaian energi surya melalui ATS ke grid PLN dengan mempertimbangkan ketersediaan matahari dan kapasitas baterai. Mengintegrasikan teknologi web monitoring dalam sistem pengisian

daya kendaraan listrik untuk meningkatkan efisiensi secara real time.

1.4 Batasan Masalah

Berikut adalah batasan masalah yang dikembangkan dari rumusan diatas:

1. Pengembangan Sistem Pengisian Daya Kendaraan Listrik Berbasis Tenaga Surya dengan ATS antara PLTS dan PLN menggunakan Raspberry Pi.
2. Listrik PLTS sebagai sumber listrik utama dan PLN sebagai sumber listrik cadangan.
3. Sistem yang dirancang mencakup pemantauan dan pengendalian pengisian daya kendaraan listrik melalui antarmuka web, dan secara jarak jauh melalui server web hosting, dengan tampilan data secara real-time.
4. Sistem manajemen pengisian baterai pada system PLTS menggunakan perhitungan SOC baterai dengan metode *coulomb counting*.
5. Pengisian kendaraan listrik dalam penelitian ini dilakukan pada skala kecil menggunakan baterai lithium life po4 dengan kapasitas 100 Ah.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Meningkatkan pemanfaatan energi surya di Indonesia untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.
2. Mengurangi emisi gas rumah kaca dari sektor transportasi dengan menyediakan alternatif pengisian daya kendaraan listrik yang ramah lingkungan.
3. Memberikan solusi pemantauan dan pengendalian berbasis Web yang dapat diakses secara lokal dan jarak jauh, meningkatkan kenyamanan dan kontrol pengguna terhadap sistem pengisian daya.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penelitian ini, hasil penelitian dan pengujian dari perancangan sistem akan ditulis dalam bentuk laporan tesis dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam bab ini memuat penjelasan singkat mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini berisikan materi-materi yang berhubungan dengan system monitoring, IoT, inverter hybrid, komponen komponen elektronika yang akan digunakan dalam penelitian seperti; Sensor, relay, pump, buzzer dan lain-lain.

BAB III METODE PENELITIAN

Dalam bab ini akan dijelaskan perancangan dan metode yang digunakan, beserta langkah-langkah pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

