

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transisi menuju energi bersih menjadi salah satu fokus utama dalam pembangunan berkelanjutan, khususnya dalam upaya menekan ketergantungan terhadap sumber energi fosil yang selama ini masih mendominasi sistem energi di Indonesia (Bonaraja Purba et al., 2025). Pemanfaatan energi terbarukan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) semakin berkembang karena memiliki potensi besar dan tidak menghasilkan emisi karbon selama pembangkitan. Integrasi teknologi green hydrogen melalui elektrolisis air berbasis energi surya juga menjadi solusi untuk mendukung sistem energi yang lebih ramah lingkungan.

Indonesia memiliki potensi energi surya yang sangat besar dengan rata-rata intensitas radiasi matahari sekitar 4,8 kWh/m² per hari. Perkembangan teknologi konversi energi surya melalui Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang semakin pesat turut mendorong penurunan biaya instalasi dan meningkatkan daya tarik implementasinya (Samsurizal et al., 2020). Pemanfaatan energi surya tidak hanya berpotensi memperkuat ketahanan energi nasional, tetapi juga mendukung pencapaian bauran energi terbarukan. Namun demikian, karakteristik energi surya yang bersifat intermiten menyebabkan fluktuasi suplai daya akibat perubahan kondisi cuaca dan waktu, sehingga menimbulkan tantangan dalam menjaga kestabilan sistem energi.

Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan untuk mengatasi ketidakstabilan energi terbarukan adalah integrasi teknologi green hydrogen melalui proses elektrolisis air yang menggunakan listrik dari sumber energi bersih, seperti PLTS. Hidrogen hijau dinilai sebagai energi masa depan yang ramah lingkungan karena proses produksinya tidak menghasilkan emisi karbon. Menurut International Renewable Energy Agency (IRENA, 2021), hidrogen hijau berpotensi memenuhi hingga 12% kebutuhan energi global pada tahun 2050.

Dalam sistem PLTS–hidrogen, baterai memiliki peran penting sebagai media penyimpanan energi untuk menyeimbangkan pasokan daya dari panel surya yang tidak stabil. Penelitian oleh Xu et al. (2018) menunjukkan bahwa baterai

menyumbang sekitar 30–40% dari total biaya sistem energi surya-hidrogen. Degradasi baterai yang terlalu cepat menyebabkan biaya penggantian yang tinggi, mencapai \$150–200/kWh setiap 3–5 tahun (Schmidt et al., 2019). Hal ini membuat nilai Levelized Cost of Hydrogen (LCOH) meningkat hingga \$8–12/kg, jauh di atas target kompetitif \$2–3/kg (Hydrogen Council, 2021).

Salah satu tantangan utama dalam optimalisasi sistem energi terbarukan terletak pada teknologi penyimpanan energi yang andal dan efisien. Sistem penyimpanan energi berfungsi menjaga keseimbangan antara produksi dan konsumsi listrik, terutama pada sumber energi yang bersifat fluktuatif seperti tenaga surya. Ketidaksesuaian waktu antara produksi energi dan kebutuhan beban sering menyebabkan ketidakstabilan suplai daya pada sistem elektrolisis. Oleh karena itu, diperlukan strategi pengelolaan baterai yang tepat agar energi dapat disimpan secara optimal saat produksi tinggi dan digunakan kembali secara efisien ketika produksi menurun, sekaligus menjaga umur pakai baterai (Agus Hariyanto & Rosiana Romadon, 2023).

Dari sisi penelitian, kebanyakan studi masih berfokus pada optimalisasi panel surya atau elektroliser secara terpisah. Kajian yang membahas secara komprehensif strategi pengelolaan baterai dalam sistem energi surya-hidrogen masih terbatas. Review oleh Zhang et al. (2020) menyebutkan bahwa hanya sekitar 12% publikasi terkait produksi hidrogen surya yang menyoroti aspek Battery Management System (BMS). Padahal, penelitian Wang et al. (2019) menunjukkan bahwa pengaturan Depth of Discharge (DoD) dan kontrol suhu yang baik mampu memperpanjang umur baterai hingga 40–50%.

Dalam konteks nasional, pemerintah Indonesia telah menargetkan pencapaian Net Zero Emission pada tahun 2060 serta bauran energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025 (ESDM, 2021). Pengembangan sistem produksi hidrogen hijau yang efisien dan ekonomis menjadi langkah penting untuk mencapai target tersebut. Namun, hingga saat ini penerapan teknologi tersebut di Indonesia masih menghadapi kendala, terutama pada aspek biaya dan keandalan penyimpanan energi.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini berfokus pada rancang bangun prototipe PLTS yang diintegrasikan dengan sistem penyimpanan energi

baterai untuk mengoptimalkan efisiensi penyimpanan energi pada produksi hidrogen. Jenis baterai yang digunakan adalah Lithium Iron Phosphate (LiFePO_4) karena memiliki tingkat keamanan tinggi, stabilitas termal yang baik,. Optimalisasi dilakukan melalui pengaturan parameter operasi seperti Depth of Discharge (DoD), strategi pengisian, serta pengendalian kondisi kerja baterai.

Melalui pengembangan prototipe ini, diharapkan sistem PLTS yang terintegrasi dengan baterai mampu menghasilkan suplai daya yang lebih stabil serta meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi listrik pada sistem energi terbarukan. Optimalisasi pengoperasian baterai menjadi aspek penting untuk menjaga kestabilan tegangan dan arus sehingga energi yang tersimpan dapat dimanfaatkan secara lebih efektif meskipun sumber energi surya bersifat fluktuatif. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran awal mengenai penerapan strategi manajemen energi berbasis baterai dalam sistem PLTS sebagai upaya meningkatkan efisiensi penggunaan energi secara berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan permasalahan yang sudah di jelaskan di atas, diantaranya:

1. Bagaimana merancang sistem PLTS terintegrasi dengan baterai LiFePO_4 yang mampu menyediakan daya listrik stabil bagi proses elektrolisis hidrogen?
2. Bagaimana pengujian sistem prototipe dilakukan untuk menilai performa kelistrikan, efisiensi energi, serta kestabilan suplai daya menuju elektroliser?
3. Bagaimana pengumpulan dan analisis data hasil uji dilakukan untuk memperoleh informasi terkait efisiensi sistem pada berbagai kondisi operasi yang berbeda?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini mencakup:

1. Merancang dan membangun prototipe sistem PLTS, baterai, elektroliser yang mampu beroperasi secara stabil dan efisien.
2. Menyusun serta melaksanakan prosedur pengujian untuk mengevaluasi kinerja kelistrikan, efisiensi energi, dan kontinuitas suplai daya dari sistem.

3. Melakukan pengambilan dan pengolahan data hasil uji untuk menilai efisiensi sistem, kestabilan suplai daya ke elektroliser, serta efektivitas strategi operasi baterai pada skenario penggunaan yang berbeda.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini mencakup:

1. Penelitian ini diharapkan dapat mendorong inovasi dalam pengelolaan baterai serta penerapan sistem otomatisasi pada energi terbarukan. Hasil penelitian juga berpotensi memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi hijau yang berkelanjutan dan mendukung program transisi energi secara global.
2. Penelitian ini bisa menjadi solusi praktis bagi industri di bidang energi terbarukan. Strategi yang dihasilkan dapat membantu meningkatkan efisiensi dan ketahanan baterai, sehingga biaya operasional dapat ditekan sekaligus memperkuat daya saing proyek energi berbasis teknologi hijau.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup permasalahannya mencakup:

1. Penelitian ini difokuskan pada baterai sebagai komponen utama penyimpanan energi. Kajian akan menitikberatkan pada jenis baterai yang umum digunakan dalam sistem energi terbarukan, khususnya baterai Lithium Iron Phosphate (LiFePO_4).
2. Penelitian akan meneliti pengaruh dua variabel utama, yaitu strategi pengisian dan pengosongan (seperti Depth of Discharge/DoD).
3. Proses analisis dilakukan melalui simulasi atau uji coba dalam skala prototipe. Data yang akan dikumpulkan meliputi efisiensi energi, dan tingkat penurunan performa baterai.
4. Penelitian ini difokuskan pada baterai sebagai komponen utama, sementara analisis kinerja panel surya dan elektroliser hanya dilakukan secara terbatas sebagai bagian dari sistem.

1.6 Kebaruan Penelitian

Kebaruan penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Penelitian ini menawarkan pendekatan eksperimental dengan membandingkan dua skenario DoD pada sistem PLTS–baterai–elektroliser berskala prototipe, yang belum banyak dikaji pada penelitian sebelumnya.
2. Baterai diperlakukan sebagai komponen aktif yang berperan dalam menjaga kestabilan operasi elektroliser, bukan hanya sebagai penyimpan energi.
3. Penelitian dilakukan dengan membandingkan dua kondisi pengosongan baterai, yaitu DoD tinggi dan DoD rendah, pada sistem berskala prototipe.
4. Analisis mengaitkan kinerja listrik baterai dengan kestabilan proses elektrolisis hidrogen.