

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Relevan

Dalam penyusunan suatu penelitian ilmiah, telaah terhadap penelitian terdahulu menjadi langkah penting untuk memperoleh gambaran mengenai perkembangan ilmu pengetahuan pada bidang yang relevan. Melalui analisis penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, peneliti dapat mengidentifikasi kecenderungan metodologi, capaian hasil, serta keterbatasan yang muncul sehingga mampu menemukan ruang kontribusi yang lebih spesifik. Pada konteks kajian mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Battery Energy Storage System (BESS), serta integrasi hidrogen, sejumlah penelitian internasional menunjukkan adanya potensi besar dalam optimalisasi penyimpanan energi dan pengurangan emisi karbon. Berikut ini beberapa penelitian yang relevan dengan topik tesis ini :

- a. Penelitian yang dilakukan oleh (Chen dkk., 2009) menegaskan bahwa sistem penyimpanan energi berbasis baterai sangat krusial dalam mengatasi sifat intermiten PLTS. BESS terbukti dapat melakukan *load leveling*, *peak shaving*, serta menjaga kestabilan suplai daya pada beban kritis. Penelitian ini relevan karena menunjukkan pentingnya integrasi PLTS dengan BESS dalam menjaga operasi elektroliser agar produksi hidrogen tidak terganggu.
- b. Penelitian yang dilakukan oleh (Gholami dkk., 2025) menilai kinerja sistem semi-transparan PV yang dipadukan dengan *hybrid storage* (baterai dan hidrogen) menggunakan PVsyst. Studi ini menekankan bahwa simulasi berbasis perangkat lunak penting untuk menentukan kapasitas optimal sistem PV dan BESS. Relevansinya terletak pada penggunaan PVsyst dalam penelitian ini untuk mendesain sistem PLTS dengan BESS di UP Gresik secara lebih akurat dan realistis.
- c. Penelitian yang dilakukan oleh (Yang dkk., 2024) melakukan optimasi parametrik sistem produksi hidrogen berbasis energi surya di Kuqa, China. Hasilnya

menunjukkan bahwa desain kapasitas PV dan pengaturan operasi elektroliser sangat menentukan efisiensi produksi hidrogen. Relevansi bagi penelitian ini adalah perlunya optimasi kapasitas PLTS di UP Gresik untuk memastikan kontinuitas suplai hidrogen sebagai pendingin generator.

- d. Penelitian yang dilakukan oleh (Gursoy & Dincer, 2025) menunjukkan integrasi PV dengan elektroliser mampu menghasilkan hidrogen hijau secara andal. Rancangan terintegrasi dan strategi pengendalian (MPPT/EMS) menentukan efisiensi sistem dan utilisasi elektroliser pada skala utilitas.
- e. Penelitian komparatif yang dilakukan oleh (Ghosh, 2025) melakukan tinjauan sistematis tentang integrasi PV dengan elektroliser. Mereka menekankan pentingnya pemilihan konfigurasi teknis yang tepat untuk meningkatkan efisiensi produksi hidrogen hijau. Penelitian ini relevan karena memberikan justifikasi metodologis atas integrasi PLTS–BESS–H₂ dalam tesis ini.
- f. Penelitian yang dilakukan oleh (Reza dkk., 2026), meneliti integrasi PV, angin, BESS dan hidrogen dalam satu sistem hibrid. Penelitian ini memperlihatkan bagaimana strategi penyimpanan ganda dapat meningkatkan keandalan dan fleksibilitas operasi energi terbarukan. Walaupun fokusnya lebih luas, relevansinya terletak pada pembelajaran manajemen penyimpanan energi untuk menjamin suplai listrik ke *H2 plant*.

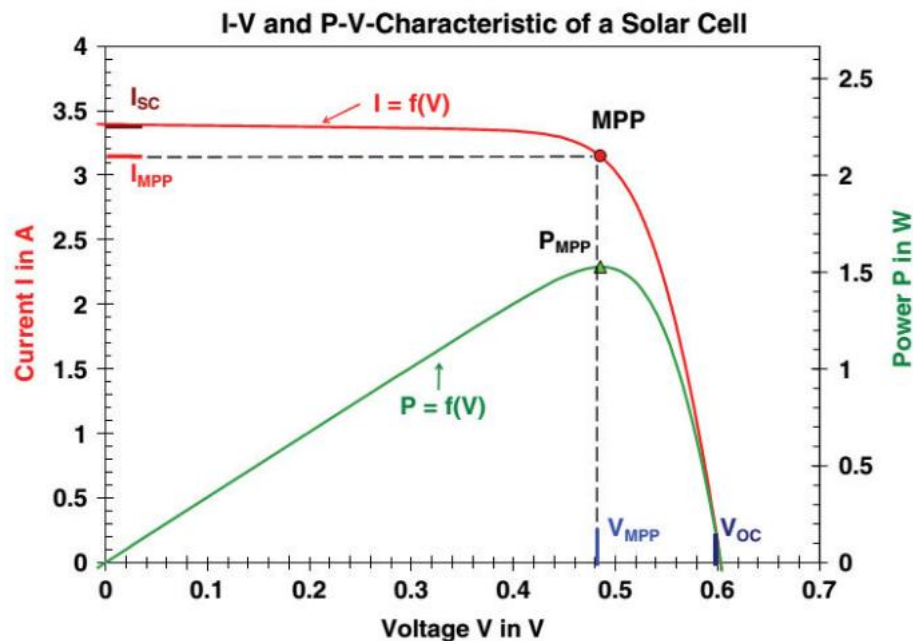
Dari berbagai penelitian di atas, dapat disimpulkan bahwa tren global saat ini mengarah pada pengembangan sistem energi terintegrasi berbasis energi terbarukan yang dilengkapi dengan berbagai bentuk penyimpanan. Baik BESS maupun hidrogen memiliki peran saling melengkapi, sehingga kombinasi keduanya dinilai mampu menjawab tantangan intermitensi energi surya. Selain itu, keberadaan perangkat lunak simulasi seperti PVsyst turut berkontribusi dalam memberikan validasi teknis terhadap rancangan sistem tersebut. Dengan memahami capaian dan keterbatasan penelitian terdahulu, penelitian ini diharapkan mampu mengisi kesenjangan ilmiah dengan fokus pada implementasi nyata integrasi PLTS, BESS dan hidrogen dalam konteks sistem kelistrikan Indonesia.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS merupakan sistem pembangkitan energi terbarukan yang memanfaatkan efek fotovoltaik untuk mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Prinsip dasar sel surya adalah ketika foton diserap oleh material semikonduktor, elektron tereksitasi ke pita konduksi dan menghasilkan arus listrik searah (DC) (Messenger & Abtahi, 2018). Karakteristik listrik modul ditentukan oleh kurva arus–tegangan (I – V) dan kurva daya (P – V). Titik operasi maksimum atau *Maximum Power Point* (MPP) dicapai dengan bantuan algoritma *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) yang terintegrasi dalam inverter (Green, 1982)

Kinerja sistem PLTS sangat dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari, suhu modul, orientasi sudut kemiringan, serta faktor eksternal seperti *shading* dan degradasi jangka panjang (Philipps & Warmuth, 2025). Dalam penelitian ini, PLTS berfungsi sebagai sumber utama energi listrik yang hasil produksinya akan dialirkan menuju sistem BESS dan *H2 plant* di UP Gresik.



Gambar 2.1 Kurva Karakteristik I-V dan P-V Sel Surya Monokristalin

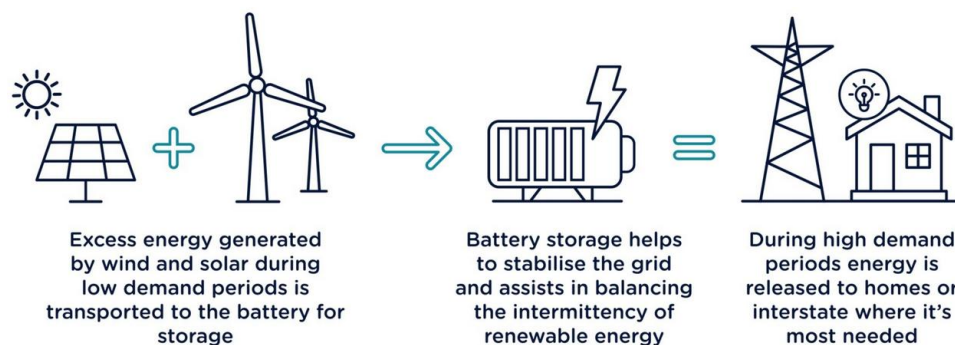
Sumber : (Abdulameer Abbood Al-Khazzar & Talib Hashim, 2016)

2.2.2 Battery Energy Storage System (BESS)

BESS adalah teknologi penyimpanan energi berbasis baterai yang digunakan untuk menstabilkan *output* listrik dari sumber energi terbarukan yang bersifat intermiten. Fungsi utama BESS antara lain adalah *load leveling* (perataan beban), *peak shaving* (pemotongan beban puncak), penyediaan cadangan, serta penstabilan tegangan dan frekuensi (Divya & Østergaard, 2009).

Dalam konteks integrasi PLTS dengan BESS di *H2 plant* UP Gresik, BESS berperan penting untuk menjaga kestabilan suplai listrik menuju elektroliser. Elektroliser membutuhkan suplai daya yang relatif stabil. Tanpa peredaman fluktuasi dari BESS, perubahan mendadak pada *output* PLTS dapat menurunkan efisiensi elektrolisis bahkan memperpendek umur peralatan (Chen dkk., 2009).

Jenis baterai lithium-ion merupakan pilihan utama karena memiliki densitas energi tinggi, efisiensi siklus penuh (*round-trip efficiency*) 85–95 %, serta respon dinamis dalam orde milidetik (<1 detik) (Cole & Frazier, 2019). Meski demikian, degradasi baterai akibat siklus pengisian dan pengosongan (*cycle life*) perlu dipertimbangkan, terutama jika sistem dioperasikan secara intensif. Oleh karena itu, strategi manajemen SOC (*State of Charge*) dan DoD (*Depth of Discharge*) sangat penting untuk memperpanjang umur operasional BESS. Dalam kerangka tesis ini, BESS berfungsi sebagai *buffer* yang memastikan suplai listrik ke *H2 plant* di UP Gresik tetap andal, sehingga proses produksi hidrogen untuk pendinginan generator PLTGU tidak terhambat meskipun terjadi variabilitas daya PLTS.



Gambar 2.2 Sistem Kerja BESS

Sumber : (Ace Tech, 2023)

2.2.3 Teknologi Hidrogen (*H2 Plant*)

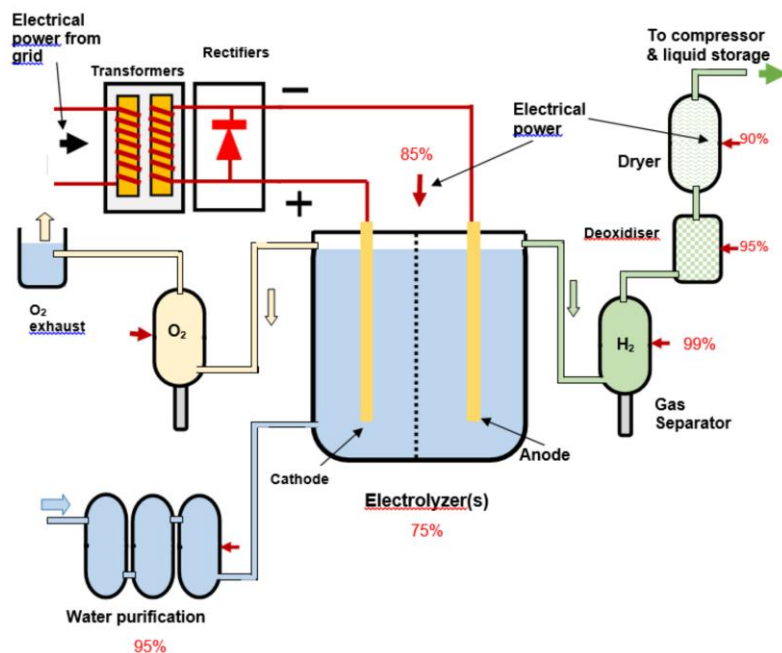
Hidrogen merupakan gas yang memiliki sifat fisik dan termal unik, sehingga banyak digunakan dalam aplikasi industri energi. Salah satu pemanfaatannya yang paling penting adalah sebagai media pendingin generator di pembangkit listrik skala besar, termasuk Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU). Pendinginan generator dengan hidrogen dipilih karena hidrogen memiliki konduktivitas termal yang tinggi, viskositas rendah, serta massa jenis kecil dibandingkan udara, sehingga mampu mengurangi rugi-rugi gesekan dan meningkatkan efisiensi operasi generator (Grigoriev dkk., 2020).

Pada saat ini, kebutuhan hidrogen di PLTGU UP Gresik dipenuhi oleh *H2 plant* yang memperoleh suplai listrik dari kombinasi PLTS dan jaringan PLN. Sistem ini memungkinkan kelangsungan produksi hidrogen meskipun PLTS tidak menghasilkan daya, misalnya pada malam hari atau saat cuaca mendung. Namun, karena jaringan PLN di Jawa – Bali masih didominasi oleh pembangkit berbasis bahan bakar fosil, maka hidrogen yang dihasilkan belum dapat dikategorikan sebagai *green hydrogen* sepenuhnya (International Energy Agency, 2022).

Proses produksi hidrogen dilakukan melalui elektrolisis air, yakni pemisahan molekul air (H_2O) menjadi hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2) dengan bantuan energi listrik. Reaksi kimia yang terjadi adalah :



Secara teoritis, energi minimum yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kg H_2 adalah sekitar 39 kWh. Namun, dalam praktik industri modern, konsumsi energi spesifik mencapai 50–55 kWh/kg H_2 karena adanya kerugian konversi dalam sistem elektroliser (Grigoriev dkk., 2020; IEA, 2022). Oleh karena itu, kestabilan suplai listrik dari PLTS yang diperkuat oleh BESS sangat penting agar elektroliser dapat beroperasi pada efisiensi optimal, menghasilkan hidrogen dengan kemurnian >99,9 % dan memenuhi kebutuhan pendinginan generator secara berkelanjutan.



Gambar 2.3 Skematik Elektrolisis Produksi Hidrogen

Sumber : (Sangster, 2014)

Hidrogen sebagai media pendingin generator PLTGU memberikan beberapa keuntungan, yaitu :

1. Efisiensi pendinginan lebih tinggi dibandingkan udara karena konduktivitas termalnya 7 kali lebih besar.
2. Pengurangan rugi gesekan rotor akibat viskositas yang rendah.
3. Peningkatan efisiensi operasi pembangkit karena generator dapat dioperasikan dalam kondisi suhu yang lebih stabil.
4. Pengurangan emisi karbon karena hidrogen yang digunakan dihasilkan dari PLTS dan BESS, sehingga bebas dari jejak karbon berbasis fosil.

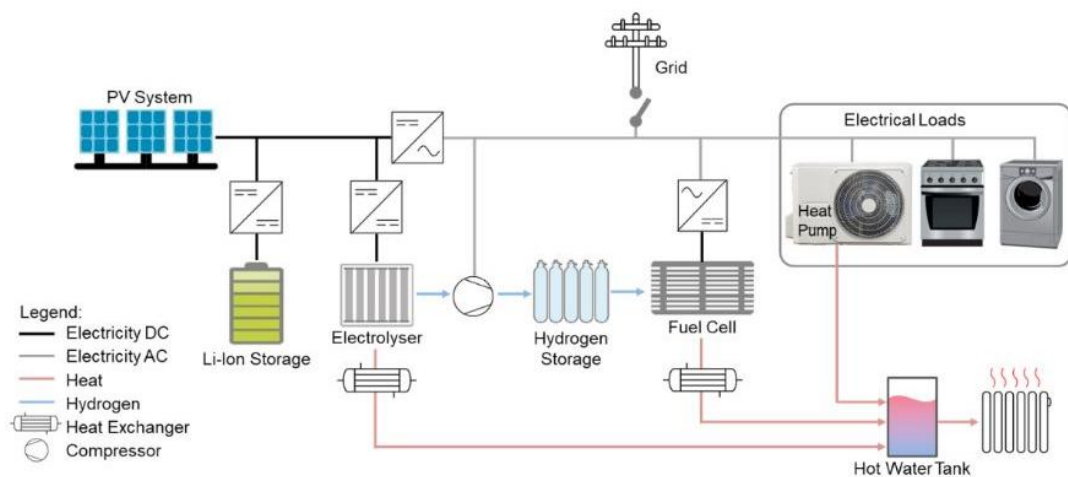
2.2.4 Integrasi PLTS dan BESS Untuk Energi *H2 Plant*

Pemanfaatan energi terbarukan dalam proses industri merupakan salah satu strategi utama transisi energi menuju sistem ketenagalistrikan rendah karbon. Salah satu implementasi yang relevan adalah integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan *Battery Energy Storage System* (BESS) untuk menyuplai kebutuhan listrik pada *H2 plant*, yang berfungsi menghasilkan hidrogen murni. Hidrogen tersebut tidak

digunakan sebagai bahan bakar ataupun penyimpanan energi jangka panjang, melainkan secara spesifik dimanfaatkan sebagai media pendingin generator pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU).

Aliran energi dalam sistem ini dimulai dari PLTS sebagai sumber utama energi listrik. PLTS menghasilkan arus searah (DC) yang kemudian dikonversi menjadi arus bolak-balik (AC) melalui inverter. Namun, karena sifat intermiten PLTS yang dipengaruhi oleh fluktuasi radiasi matahari, diperlukan sistem penyangga berupa BESS. BESS berfungsi sebagai *buffer* untuk meredam variabilitas jangka pendek sehingga pasokan daya menuju *H2 plant* lebih stabil dan andal (Chen dkk., 2009; Divya & Østergaard, 2009).

Selanjutnya, energi listrik yang stabil dari PLTS dan BESS digunakan untuk mengoperasikan elektroliser di *H2 plant*. Proses elektrolisis memecah molekul air menjadi gas hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2). Hidrogen yang dihasilkan kemudian digunakan sebagai pendingin generator PLTGU. Pemilihan hidrogen sebagai pendingin didasarkan pada sifatnya yang memiliki konduktivitas termal 7 kali lebih tinggi dibandingkan udara, viskositas rendah yang mengurangi rugi-rugi gesekan, serta kemampuan mempertahankan kondisi suhu generator dalam batas aman (Grigoriev dkk., 2020; Lyckstrom, 2023).



Gambar 2.4 Contoh Desain PLTS, BESS dan Hidrogen pada Bangunan Gedung

Sumber : (Bellini, 2022)

2.3 Kerangka Konseptual

Kerangka konseptual merupakan fondasi analitis yang menghubungkan landasan teori dengan penelitian terdahulu serta fokus penelitian yang sedang dikembangkan. Pada penelitian ini, kerangka konseptual dirancang untuk menjelaskan hubungan logis antara peran Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Battery Energy Storage System (BESS), *H2 Plant* dan PVsyst sebagai alat bantu perancangan teknis. Keempat komponen ini saling berkaitan dalam membentuk suatu sistem integrasi energi terbarukan yang ditujukan untuk mendukung keandalan operasi PT. PLN Nusantara Power UP Gresik melalui pemanfaatan hidrogen hijau sebagai media pendingin generator.

2.3.1 PLTS Sebagai Sumber Energi Utama

PLTS diposisikan sebagai sumber utama energi listrik dalam kerangka konseptual ini. Energi surya dipilih karena ketersediaannya yang melimpah di wilayah tropis seperti Indonesia, di mana potensi radiasi rata-rata harian cukup tinggi (International Energy Agency, 2024). Sebagai teknologi terbarukan, PLTS menghasilkan listrik tanpa emisi karbon, sehingga sesuai dengan agenda transisi energi nasional.

Namun, daya keluaran PLTS memiliki sifat intermiten akibat perubahan intensitas radiasi matahari. Variabilitas inilah yang menjadi salah satu tantangan utama dalam integrasi PLTS dengan sistem industri yang membutuhkan suplai listrik stabil, seperti *H2 plant*. Oleh sebab itu, PLTS dalam kerangka ini tidak berdiri sendiri, melainkan harus dipadukan dengan sistem penyimpanan energi.

2.3.2 BESS Sebagai Penyangga Keandalan Sistem

BESS diposisikan sebagai elemen penyangga (*buffer*) yang menjamin keandalan suplai energi dari PLTS. Dalam penelitian terdahulu, BESS terbukti efektif dalam *peak shaving* (pemotongan beban puncak), *load leveling* (perataan beban), serta peredam fluktuasi jangka pendek pada sistem berbasis energi terbarukan (Chen dkk., 2009; Divya & Østergaard, 2009).

Dalam konteks *H2 plant*, BESS berfungsi untuk menjaga agar input daya menuju elektroliser tetap stabil. Elektroliser sensitif terhadap perubahan daya sehingga fluktuasi pada elektroliser dapat menurunkan efisiensi konversi dan memperpendek umur peralatan

(Grigoriev dkk., 2020). Oleh karena itu, keberadaan BESS dalam kerangka konseptual ini menjadi kunci untuk memastikan bahwa listrik dari PLTS dapat dimanfaatkan secara optimal dalam proses elektrolisis air.

2.3.3 *H2 Plant* Sebagai Penghasil Hidrogen Untuk Pendinginan Generator

H2 plant merupakan pengguna akhir energi listrik dalam kerangka konseptual. Energi listrik dari PLTS dan BESS digunakan untuk menggerakkan elektroliser, yang memproduksi hidrogen murni dari air melalui reaksi elektrokimia. Hidrogen yang dihasilkan kemudian digunakan sebagai pendingin generator di PLTGU UP Gresik.

Pendinginan generator dengan hidrogen memiliki keunggulan signifikan dibandingkan pendinginan berbasis udara, yaitu konduktivitas termal yang lebih tinggi, densitas yang rendah, dan pengurangan rugi-rugi gesekan (Lyckstrom, 2023). Dengan menggunakan listrik dari PLTS dan BESS, maka hidrogen yang dihasilkan dapat dikategorikan sebagai *green hydrogen*, yakni hidrogen bebas emisi karbon. Hal ini menjadikan integrasi sistem ini tidak hanya bermanfaat bagi keandalan operasional pembangkit, tetapi juga mendukung target penurunan emisi nasional.

2.3.4 PVsyst Sebagai Alat Perancangan dan Validasi Teknis

PVsyst adalah perangkat lunak yang banyak digunakan dalam perancangan dan simulasi sistem fotovoltaik. Alat ini memungkinkan perhitungan energi listrik yang dihasilkan PLTS berdasarkan data meteorologi, parameter teknis modul, konfigurasi inverter, serta faktor-faktor *shading* (PVsyst, 2025).

Dalam kerangka konseptual ini, PVsyst digunakan untuk memvalidasi desain teknis PLTS sehingga dapat dipastikan bahwa kapasitas energi yang dihasilkan cukup untuk menyuplai *H2 plant* melalui BESS. Dengan kata lain, PVsyst berperan dalam memberikan dasar kuantitatif atas rancangan yang diajukan, sehingga penelitian tidak hanya berbasis pada asumsi teoretis, melainkan juga pada hasil simulasi yang tervalidasi.

Integrasi ini menciptakan suatu alur energi berkelanjutan, di mana energi matahari dimanfaatkan secara langsung untuk mendukung kebutuhan industri pembangkitan, sekaligus mewujudkan produksi hidrogen hijau yang ramah lingkungan.

2.4 Kesenjangan Penelitian (*Research Gap*)

Kesenjangan penelitian merupakan aspek penting dalam penyusunan tesis, karena menunjukkan posisi penelitian yang sedang dilakukan dibandingkan dengan kajian-kajian sebelumnya. Melalui identifikasi kesenjangan, dapat dipahami kontribusi ilmiah dan orisinalitas dari penelitian ini. Secara khusus, terdapat beberapa area yang masih kurang mendapat perhatian dalam literatur maupun praktik nyata, yaitu :

1. Minimnya penelitian integrasi PLTS dengan BESS khusus untuk aplikasi *H2 plant* di Indonesia. Hingga saat ini, penelitian di Indonesia lebih banyak berfokus pada integrasi PLTS *grid connected* umum maupun aplikasi *microgrid* berbasis diesel, PV dan BESS (Rianto & Wahyu Adi, 2024). Kajian yang secara spesifik meneliti pemanfaatan PLTS dengan BESS untuk menyuplai *H2 plant* masih sangat terbatas. Padahal, kebutuhan listrik untuk *H2 plant* bersifat beban kritis yang harus mendapat pasokan stabil, kontinu dan rendah emisi. Kekosongan penelitian ini menunjukkan adanya peluang untuk mengkaji integrasi PLTS dengan BESS secara teknis dalam mendukung produksi hidrogen murni sebagai pendingin generator PLTGU.
2. Dominasi studi terdahulu pada aspek ekonomi, bukan aspek teknis operasional. Literatur internasional menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian terdahulu lebih menekankan pada aspek ekonomi, seperti analisis *Levelized Cost of Electricity (LCOE)*, *Net Present Value (NPV)*, atau periode pengembalian investasi (*payback period*) (Lubis, 2025). Sementara itu, penelitian yang murni berfokus pada optimasi kapasitas PLTS dengan BESS untuk menjamin keandalan suplai listrik *H2 plant* masih jarang ditemukan. Hal ini menimbulkan kesenjangan penelitian yang signifikan, terutama dalam konteks operasional pembangkit di Indonesia yang menuntut kontinuitas suplai untuk mendukung pendinginan generator.
3. Belum adanya kajian spesifik pada lokasi di PT. PLN Nusantara Power UP Gresik. Lokasi penelitian ini memiliki nilai strategis, karena PLTGU UP Gresik merupakan salah satu unit besar yang menjadi tulang punggung pasokan listrik di Jawa Timur, sekaligus mendukung target dekarbonisasi PLN. Radiasi surya di wilayah Gresik cukup tinggi, sehingga sangat potensial untuk pemanfaatan PLTS. Namun, kajian yang spesifik meneliti perhitungan kapasitas optimal PLTS dan BESS pada *site* UP

Gresik dengan tujuan khusus untuk menyuplai *H2 plant* masih belum tersedia. Padahal, kebutuhan daya *auxiliary* (Aux) atau *starting power H2 plant* bersifat nyata dan kritis untuk menjamin keandalan operasi pembangkit.

4. Kebutuhan studi teknis berbasis PVsyst untuk strategi operasi tanpa impor-ekspor energi PLN. Sebagian besar studi yang menggunakan PVsyst berhenti pada tahap simulasi umum, tanpa memperhatikan strategi operasional jangka panjang yang dibutuhkan dalam sistem nyata. Belum ada kajian teknis yang mendetail mengenai bagaimana PLTS dan BESS dapat dioperasikan secara andal untuk menyuplai *H2 plant* tanpa ketergantungan impor-ekspor energi ke PLN. Dengan demikian, terdapat kebutuhan mendesak untuk mengembangkan studi teknis berbasis PVsyst yang tidak hanya merancang kapasitas optimal, tetapi juga mengevaluasi strategi operasi yang andal untuk implementasi nyata di UP Gresik.

2.5 Relevansi Tinjauan Pustaka Dengan Penelitian

Tinjauan pustaka memiliki peran penting dalam memberikan kerangka konseptual, landasan ilmiah, serta pembenaran metodologis terhadap penelitian yang dilakukan. Literatur terdahulu yang membahas integrasi energi surya, penyimpanan energi berbasis baterai, serta pemanfaatan hidrogen memberikan arah dan dukungan terhadap rancangan penelitian ini. Adapun relevansi utama tinjauan pustaka terhadap penelitian yang dilakukan dapat dijelaskan sebagai berikut :

2.5.1 Mendukung Gagasan Desain PLTS dengan BESS Untuk Produksi Hidrogen Sebagai Pendingin Generator

Literatur internasional menunjukkan bahwa PLTS dapat menjadi sumber energi utama yang ramah lingkungan untuk menggerakkan sistem elektrolisis dalam produksi hidrogen (Gursoy & Dincer, 2025). Namun, fluktuasi radiasi matahari menimbulkan variabilitas daya keluaran yang dapat mengganggu kestabilan operasi elektroliser. Oleh karena itu, kajian mengenai integrasi PLTS dengan BESS sangat relevan untuk memastikan pasokan listrik yang lebih stabil dan handal (Chen dkk., 2009; Divya & Østergaard, 2009).

Dalam konteks UP Gresik, literatur tersebut mendukung gagasan bahwa PLTS dengan BESS merupakan kombinasi strategis untuk menghasilkan hidrogen murni yang berfungsi sebagai pendingin generator PLTGU. Dengan memanfaatkan energi terbarukan, sistem ini mampu mengurangi ketergantungan pada listrik berbasis fosil dari jaringan PLN, sehingga hidrogen yang dihasilkan dapat dikategorikan sebagai *green hydrogen*.

2.5.2 Memvalidasi Metodologi Dengan PVsyst Untuk Memastikan Desain Dapat Direalisasikan

PVsyst merupakan perangkat lunak standar yang digunakan dalam simulasi sistem fotovoltaik di berbagai penelitian (PVsyst, 2025). Tinjauan pustaka menunjukkan bahwa PVsyst mampu memberikan estimasi energi listrik PLTS dengan mempertimbangkan faktor meteorologi, orientasi modul, sudut kemiringan, serta kapasitas inverter.

Literatur juga menegaskan pentingnya validasi simulasi terhadap kondisi nyata agar desain dapat direalisasikan dengan baik (Philipps & Warmuth, 2025). Dengan demikian, penggunaan PVsyst dalam penelitian ini berperan sebagai alat validasi teknis yang mendukung metodologi. Hasil simulasi dari PVsyst dapat memberikan justifikasi kuantitatif terkait kapasitas optimal PLTS dan BESS untuk menyuplai *H2 plant* di UP Gresik, sehingga rancangan tidak hanya konseptual, tetapi juga realistis untuk diimplementasikan.

2.5.3 Menegaskan Kebutuhan Strategi Operasional BESS Untuk Kestabilan Suplai

Tinjauan pustaka mengenai strategi manajemen *State of Charge* (SOC) menunjukkan bahwa pengaturan SOC yang tepat dapat memperpanjang umur BESS sekaligus meningkatkan keandalan sistem (Doan dkk., 2024). Namun, sebagian besar literatur masih membahas konteks *grid-connected* atau *microgrid* umum, tanpa fokus pada beban khusus seperti *H2 plant*.

Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan mengadaptasi temuan dari literatur untuk kebutuhan spesifik di UP Gresik. Dengan demikian, relevansi pustaka tidak hanya

mendukung desain teknis, tetapi juga memperkuat strategi operasional agar sistem dapat bekerja seminimal mungkin untuk impor-ekspor listrik dari jaringan PLN.

2.5.4 Memberikan Kontribusi Pada Transisi Energi dan Dekarbonisasi Sistem Kelistrikan

Kajian dari (IEA, 2022) menekankan bahwa hidrogen hijau merupakan salah satu kunci transisi energi global. Dengan memanfaatkan literatur ini, penelitian di UP Gresik diposisikan bukan hanya sebagai solusi teknis lokal, tetapi juga sebagai kontribusi terhadap agenda transisi energi nasional. Relevansi ini memperkuat bahwa penelitian tidak sekadar memiliki manfaat akademis, tetapi juga nilai strategis dalam mendukung kebijakan energi berkelanjutan.