

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Peningkatan kebutuhan energi global serta urgensi mitigasi perubahan iklim telah mendorong percepatan transisi menuju energi terbarukan (IRENA, 2023; IPCC, 2022). Konsumsi energi global diproyeksikan meningkat sebesar 30% hingga tahun 2050, dengan permintaan listrik tumbuh dua kali lebih cepat dibandingkan total permintaan energi (Tracker, 2024). Laporan Global Electricity Review 2025 mengungkapkan bahwa energi surya berkontribusi hingga 40% dari pertumbuhan permintaan listrik global pada tahun 2024 (Fulghum, 2025). Dalam hal ini, sistem energi terbarukan hibrida (HRES) yang mengintegrasikan dua atau lebih sumber energi terbarukan menjadi solusi strategis untuk mengatasi intermitensi dan meningkatkan keandalan pasokan energi listrik untuk daerah terpencil atau dengan kondisi geografis spesifik (Babu et al., 2020; Thango & Obokoh, 2024). Indonesia menargetkan 23% bauran energi terbarukan pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050, namun hingga tahun 2024 baru mencapai 14,5% (Kementrian ESDM et al., 2024). Studi terbaru di Pesisir Barat Indonesia menunjukkan potensi radiasi matahari yang tinggi dan konsisten mencapai 18,61 kWh/m²/hari melebihi rata-rata global sebesar 5,5 kWh/m²/hari (Aprilia et al., 2024). Sementara itu, ketergantungan masyarakat pesisir pada generator diesel dengan biaya operasional tinggi \$0,15/kWh dibandingkan dengan tarif PLN sebesar \$0,08/kWh (Wardhana & Marifatullah, 2020). Keterbatasan lahan darat di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil menjadi kendala signifikan dalam pengembangan infrastruktur energi konvensional, menjadikan teknologi *floating* dan *hybrid* sebagai alternatif yang menjanjikan (Institute for Essential Services Reform (IESR), 2024).

Di dalam berbagai konfigurasi HRES, kombinasi *Floating Solar Photovoltaic* (FSPV) dan turbin angin (*Wind Turbine/WT*) menunjukkan potensi signifikan untuk

wilayah pesisir. FSPV menawarkan dua keuntungan, yaitu memanfaatkan area perairan yang luas dan meningkatkan efisiensi panel surya hingga 11% karena efek pendinginan air (Kumar et al., 2023; Huang et al., 2025). Sementara itu, wilayah pesisir umumnya memiliki kekuatan angin yang kuat dan stabil, menjadikannya lokasi ideal untuk pemasangan turbin angin (Bhattacharya et al., 2023). Penelitian terbaru (Kohol  et al., 2025) yang mengkaji sistem PV/Angin dengan penyimpanan energi termal (TES) dan penyimpanan pompa air (PHES) menunjukkan bahwa pengaturan PV/Angin/TES merupakan yang paling efisien biaya untuk penggunaan di wilayah pedesaan, menekankan potensi ekonomi dari sistem hibrida semacam ini. Tetapi, implementasi HRES di daerah pesisir masih menghadapi kendala teknis dan ekonomi. Fluktuasi output daya akibat variabilitas sumber energi (radiasi matahari dan kecepatan angin) serta biaya investasi awal yang tinggi menjadi kendala utama (Sukarso & Kim, 2020; Dykes et al., 2020). Lingkungan laut yang ekstrem juga menimbulkan risiko tambahan terhadap integritas struktural dan operasional sistem FSPV (Khare et al., 2023). Oleh karena itu, analisis tekno-ekonomi menggunakan perangkat lunak *Hybrid Optimization Model for Electric Renewables* (HOMER) dan analisis sensitivitas sangat penting untuk merancang konfigurasi sistem yang optimal dan dapat diandalkan (Atribowo et al., 2020). Misalnya, pada penelitian (Rauf et al., 2020) di Bangladesh berhasil mengoptimalkan HRES dengan HOMER dengan mengurangi nilai *Net Present Cost* (NPC) hingga 30% melalui kombinasi surya-angin. Selain itu, penelitian serupa di Kepulauan Kei, Maluku, telah membuktikan bahwa sistem hibrida surya-angin mampu menurunkan LCOE hingga \$0,06/kWh, menunjukkan potensi penghematan yang signifikan (Rezki Fajry et al., 2018).

Meskipun sistem HRES telah banyak dikembangkan dalam berbagai aplikasi, namun belum ditemukan studi yang secara spesifik mengintegrasikan FSPV-WT untuk wilayah pesisir Indonesia dengan pemodelan berbasis HOMER Pro yang mencakup sensitivitas terhadap variabel lingkungan laut. Studi sebelumnya sebagian besar

berfokus pada aplikasi HRES FSPV-WT di wilayah danau atau bendungan, serta masih memanfaatkan sistem kombinasi secara *on-grid* atau sistem yang masih terhubung dengan jaringan listrik (Mojumder et al., 2024a). Beberapa penelitian telah mengeksplorasi penggunaan sistem *floating* solar di perairan tenang, tetapi belum banyak yang menggabungkan teknologi *floating* solar dengan turbin angin untuk aplikasi khusus di wilayah pesisir dengan kondisi lingkungan yang dinamis (Khare et al., 2023).

Novelty dari penelitian ini adalah pengembangan desain sistem hibrida FSPV-WT yang dioptimasi khusus untuk wilayah pesisir, yang mengintegrasikan analisis karakteristik lingkungan pesisir dengan pendekatan tekno-ekonomi dan analisis sensitivitas sehingga dapat menghasilkan konfigurasi sistem yang tidak hanya optimal dari segi teknis dan ekonomi, tetapi juga adaptif terhadap perubahan variabel lingkungan. Pendekatan ini akan memungkinkan perencanaan sistem energi terbarukan yang lebih tangguh dan berkelanjutan, mendukung ketahanan pasokan energi di wilayah pesisir terhadap tantangan lingkungan ekstrem. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan membuat desain serta analisis sistem hibrida FSPV-WT di Pesisir Pantai Cirebon melalui simulasi HOMER. Hasilnya diharapkan memberikan rekomendasi konfigurasi optimal yang tidak hanya memenuhi kebutuhan energi lokal, tetapi juga mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan. Dengan memadukan pendekatan tekno-ekonomi dan analisis sensitivitas, studi ini diharapkan menjadi referensi bagi pengambil kebijakan dalam merancang strategi transisi energi di wilayah pesisir Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka penelitian ini perlu memberikan solusi yang jelas dan tepat terhadap masalah yang diteliti. Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini:

1. Bagaimana potensi dan ketersediaan sumber daya energi terbarukan melalui sistem *Hybrid Floating Solar Photovoltaic* dan *Wind Energy (H-Flosow)* di lokasi penelitian?
2. Bagaimana merancang desain sistem *H-Flosow* yang optimal untuk kondisi lingkungan di wilayah Pantai Cirebon?
3. Bagaimana kinerja tekno-ekonomi sistem *H-Flosow* dan sensitivitasnya terhadap perubahan parameter ketika sistem bekerja secara *hybrid* dibandingkan dengan sistem bekerja secara terisolir?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis dan mengusulkan desain optimal sistem *H-Flosow* di wilayah pesisir Pantai Cirebon. Adapun tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi dan menganalisis potensi energi terbarukan untuk perancangan sistem *H-Flosow* di lokasi penelitian.
2. Merancang desain sistem *H-Flosow* menggunakan *software* HOMER-Pro.
3. Menganalisis kinerja tekno-ekonomi sistem *H-Flosow* dan melakukan uji sensitivitas untuk membandingkan performa sistem ketika bekerja secara *hybrid* dan ketika bekerja secara terisolir.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Alternatif pembangkit listrik energi terbarukan hibrida untuk membantu memanfaatkan potensi sumber daya energi terbarukan di wilayah pesisir Pantai Cirebon secara efisien dan tepat guna.
2. Perangkat lunak HOMER melalui pendekatan tekno-ekonomi dan analisis sensitivitas mampu menemukan desain optimal yang sesuai secara teknis dan

ekonomis dengan kebutuhan daya di kawasan pesisir Pantai Cirebon.

3. Hasil penelitian ini berpotensi untuk memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan sistem elektrifikasi di wilayah pesisir Pantai Cirebon.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Pada penelitian ini difokuskan untuk lokasi di wilayah pesisir Pantai Cirebon area ini dipilih karena potensi paparan radiasi matahari dan kecepatan angin yang tinggi. Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang berasal dari NASA POWER serta teknologi yang dipakai yaitu menggunakan *floating solar photovoltaic* dan *wind energy*. Simulasi menggunakan perangkat lunak HOMER dengan pendekatan analisis tekno-ekonomi untuk menentukan konfigurasi sistem yang optimal dengan mempertimbangkan parameter seperti *Net Present Cost* (NPC) dan *Cost Of Energy* (COE). Serta analisis sensitivitas dilakukan untuk mengetahui perubahan variabel lingkungan terhadap performa sistem *H-Flosow*. Penelitian ini dilakukan dengan asumsi umur proyek selama 25 tahun dan hanya berfokus pada perbandingan kinerja sistem *H-Flosow*, tanpa memberikan rancangan detail untuk pembangunan *H-Flosow*.